

Article

# Recomendaciones para las acciones de gestión integrada frente a los incendios en Galicia

## *Recommendations for integrated management actions against fires in Galicia*

Javier Madrigal Olmo <sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup> Dr. Ingeniero de Montes. Científico Titular de los Organismos Públicos de Investigación. INIA, Centro de Investigación Forestal, Dpto. de Dinámica y Gestión de los Sistemas Forestales, Laboratorio de incendios forestales. Ctra. Coruña km 7,5, 28040 Madrid. iuFOR. Instituto Universitario de Gestión Forestal Sostenible uVA-INIA

\* Correspondencia: incendio@inia.es.

Received: 12/03/2020; Accepted: 01/05/2020; Published: 03/07/2020

### Resumen:

Se presentan los resultados obtenidos en los últimos años por parte del Laboratorio de incendios forestales del INIA-CIFOR en relación a la caracterización del riesgo de incendios, la inflamabilidad de la vegetación a diferentes escalas y las medidas de apoyo a la restauración tras incendios. El documento se ha estructurado en tres capítulos que concluyen en una lista no exhaustiva de recomendaciones básicas, con el objetivo de contribuir a la mejora de acciones integradas para mejorar la prevención, extinción y restauración de incendios forestales en Galicia.

**Palabras Clave:** functional fitness; body composition; university students; Functional Movement Screen.

### Abstract:

The results obtained in recent years by the INIA-CIFOR Forest Fire Laboratory are presented in relation to the characterization of fire risk, flammability of vegetation at different scales and measures to support restoration after fires. The document has been structured in three chapters that conclude in a non-exhaustive list of basic recommendations, with the aim of contributing to the improvement of integrated actions that improve the prevention, extinction and restoration of forest fires in Galicia.

**Keywords:** functional fitness; body composition; university students; Functional Movement Screen.

---

## 1. La dimensión social del uso del fuego en Galicia. Introducción

Prevenir incendios en nuestros ecosistemas implica básicamente dos cosas (Madrigal Olmo 2017): disminuir las fuentes de ignición de causa humana y reducir la continuidad y cantidad de combustible (Fig. 1). La primera implica el “arte” de tratar con las personas, por tanto incluye disciplinas de estudio claramente orientadas a lo que tradicionalmente se considera “Humanidades”, todas ellas aplicadas fundamentalmente al mundo rural o a aquella parte del mundo urbano que se acerca al monte y necesita herramientas para

comprenderlo. La gestión de los combustibles tiene una dimensión más técnica y se englobaría en lo que denominamos normalmente como “Ciencias” en este caso “Ciencias forestales”. En esta reflexión debemos incluir la ingeniería en el sentido más básico de la palabra: “actuar con ingenio”. O lo que podríamos denominar “aplicar la técnica con arte” y en el caso de Galicia con la sensibilidad adecuada para poder aunar la ciencia y las humanidades con el objeto de resolver un problema ancestral que es el uso del fuego. Ello implica soluciones de consenso basadas en la participación de actores y la implicación directa de todos ellos en la toma de decisiones. Las actuaciones verticales se han mostrado ineficaces y ya existen ejemplos en otras partes de Europa sobre los buenos resultados que incluyan la participación social como parte activa, decisora y ejecutora. Estas fórmulas nos llevan a procesos de corresponsabilidad en los que las partes asumen su porción de culpa en caso de errores en la planificación o ejecución de actuaciones. Sólo de esta manera se conseguirá aprender de dichos errores y que las lecciones aprendidas sean verdaderamente un proceso de retroalimentación para poder ir mejorando el sistema de defensa integrada frente a los incendios. Porque “integrar” implica también cambiar psicológicamente para incorporar en el futuro comportamientos y hábitos personales que lleven a una mejora del funcionamiento social y por ende de los ecosistemas gallegos.

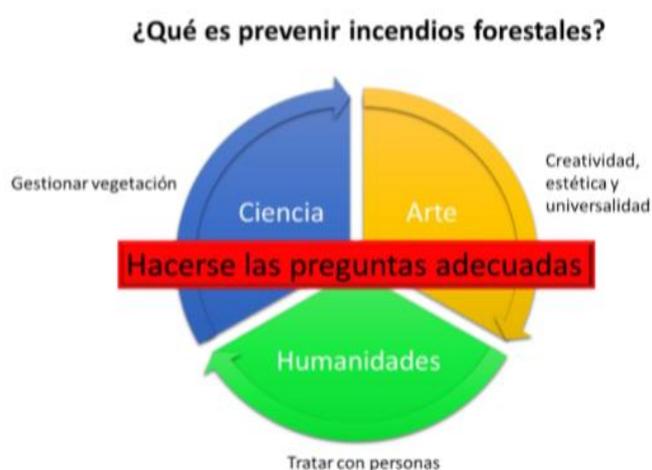


Figura 1. Esquema conceptual para prevenir incendios y plantear estrategias participativas en Galicia.

Las quemas de matorrales para mantener los pastos de montaña han sido una práctica tradicional que ha chocado frontalmente con la gestión forestal puesto que ha supuesto un freno para la expansión del bosque. El abandono rural y la ausencia de explotación en extensivo en un período tan corto de apenas 50-60 años está generando por primera vez en la Historia cambios en el paisaje a escala temporal humana, esto es, los abuelos ya no reconocen los paisajes de su niñez. Esto supone un *shock* cultural difícil de asumir en una sola generación de los habitantes de los pueblos gallegos, lo que genera “ansiedad” por mantener los paisajes conocidos y por tanto seguir

recurriendo al fuego porque saben que es la única herramienta que lo consigue a corto plazo. Sin entrar a juzgar penalmente el incendiarismo, lo cierto es que es un hecho socioeconómico con el que estamos conviviendo que tiene raíces culturales y psicológicas con repercusiones ambientales y ecológicas.

La ausencia de suficiente cabaña ganadera en extensivo (extensivo de verdad, esto es, pastoreo itinerante como se hacía en otros tiempos) hace que la recuperación de la vegetación arbustiva sea más rápida y por tanto sean necesarias quemas más frecuentes por falta de herbivoría: si queremos un prado lo que no se lo come el ganado lo tiene que consumir el fuego. Esto genera dos efectos perversos de fatales consecuencias: a) El aumento de frecuencia de incendios en un mismo prado genera más riesgo de erosión y pérdida de productividad del pastizal a medio plazo

b) El aumento del número de focos de ignición genera más peligro de que alguno de ellos se termine convirtiendo en un gran incendio, máxime cuando el fuego se encuentra con un paisaje cada vez menos fragmentado.

### ***1.1. Algunas recomendaciones para aunar gestión forestal y sociedad: las quemas prescritas***

Conservar los bosques de Galicia pasa por evitar los grandes incendios y la alta recurrencia y para ello urge regular el uso del fuego. Los programas de quemas prescritas (prescritas de verdad, no sólo las autorizaciones para las quemas controladas en pastizales) no son la panacea pero son la solución científico-técnica más viable porque se enfrenta a los problemas socioeconómicos y ecológicos planteados. Algunas medidas las podemos resumir en (Madrigal 2017):

- 1) Trabajar con el propietario. En una explotación privada, el objetivo principal es satisfacer las necesidades del propietario. La administración debería asegurar la mayor compatibilidad ecológica y de conservación del sistema, máxime si hablamos del uso de montes de utilidad pública en muchos casos. Si los programas de quemas prescritas pudieran sustituir a las tradicionales quemas controladas, al menos podríamos capitalizar la experiencia, evaluar los impactos y valorar la eficacia, tanto productiva (calidad y cantidad de pasto) como preventiva (disminución de carga de combustible y fragmentación a escala paisaje). De igual manera los resultados ayudarían al ganadero a replantearse algunos mitos y a ser consciente que el recurso “pasto” es limitado y tiene un “coste ecológico”. Por otro lado los ganaderos que participen en estos programas deberían ser recompensados con incentivos, ya sean fiscales o de promoción de sus productos para que tengan mejor salida de mercado, así como por el servicio ambiental prestado, en su caso. De igual manera los ganaderos que no quieran adherirse a este sistema e insistan en las quemas sin autorización deben ser castigados con todo el peso de la Ley porque el manejo del fuego sin autorización es un delito. Imprescindible implantar programas de conciliación como los ejecutados por los equipos EPRIF para que este tipo de empresarios agrarios pasen a ser una inmensa minoría.
- 2) Mantener una cultura ancestral. Si como parece la práctica de la quema en Europa se remonta a la Edad de Hielo ¿es realmente necesario eliminar este elemento cultural si conseguimos hacerlo compatible con la gestión de nuestros paisajes? Tenemos ciencia y técnica suficiente para quemar sin dañar excesivamente al ecosistema. Hagámoslo y contémoslo bien a la sociedad rural y urbana para poner en valor esta práctica que, ejecutada bien, es un tratamiento similar a los desbroces y en muchos casos con mayores ventajas ecológicas y de coste del tratamiento.

- 3) El abandono rural parece imparable. Pero lamentablemente eso no quiere decir que vaya a haber despoblación total de las áreas rurales en Galicia, sino que la población va a envejecer y a reducirse en número y habrá un incremento de segundas residencias de los herederos de esas propiedades que usan el rural como segunda actividad o recreo. La consecuencia posible es que tengamos menos incendiarios pero más dañinos porque estarán más desvinculados de las demandas sociales, sobre todo las del mundo urbano. Las soluciones no parecen fáciles a corto plazo pero las consecuencias son evidentes: más matorrales donde antes había pastos, más plantaciones abandonadas, generando más continuidad, homogeneidad del paisaje y por tanto peligro de incendios de alta intensidad que puedan llegar a áreas de bosque con pocas adaptaciones al fuego. La opción más racional es quemar de forma prescrita la superficie que de otra manera va a arder antes o después en incendios forestales. Al menos controlaremos la severidad de la quema y su compatibilidad ecológica, en un incendio las consecuencias son, cuando menos, impredecibles y en la mayoría de los casos mucho más severas para los sistemas agroforestales y los bosques. Fórmulas como las de Custodia del Territorio donde el propietario es el protagonista en la protección de nuestros ecosistemas son buenos ejemplos que se podrían intentar integrar en los programas de quemas a nivel local y comarcal.
- 4) Mimar a los pocos pastores que nos quedan (a los de verdad que acompañan al ganado y lo mueven por el monte) y fomentar las escuelas de pastores para modernizar la profesión, donde incluyamos asignaturas de quemas prescritas (modernizando la típica quema pastoral tradicional). Los sistemas agroforestales dependen de los pastores y sus animales. A su vez los ganaderos en extensivo y semi-extensivo deberían tomar conciencia que existen unas demandas sociales (y legales) que chocan con sus prácticas tradicionales de quemar intencionadamente sin el establecimiento de un programa de quemas. La frecuencia de incendios de muchas áreas de Galicia, sobre todo de Pontevedra y Orense, es insostenible desde un punto de vista ecológico y ya empieza a ser preocupante desde el punto de vista de seguridad del personal de extinción y las poblaciones en el entorno forestal. Los ganaderos deben ser conscientes de que cometen un delito que pone en peligro a mucha gente. Quemar sí, pero con seguridad y eficacia y bajo un programa de quemas que puede consensuarse entre todos los actores. Las quemas de brezales en Escocia o los programas de quemas en el Sur de Francia son ejemplos de recuperación de prácticas tradicionales que podríamos imitar. Recuperar experiencias en España como el Plan 42 de Castilla y León parece prioritario.
- 5) Profesionalización de los bomberos forestales. Los profesionales del fuego son los más cualificados para planificar, ejecutar y evaluar los programas de quemas prescritas. Para ello es imprescindible un dispositivo profesional de bomberos forestales que trabaje todo el año y esté implicado en la gestión agroforestal, no solamente en la emergencia. La defensa integrada frente a los incendios forestales implica cambios socioeconómicos, políticos y culturales para hacer compatible el uso del fuego con la prevención, la extinción y la restauración de ecosistemas y para ello es imprescindible un colectivo de bomberos forestales formado y profesional como parte de los servicios públicos.
- 6) Los programas de conciliación y formación deberían ir acompañados de programas de educación en las escuelas sobre el "fuego bueno" y el "fuego malo". Si hay una pequeña

esperanza de que las nuevas generaciones se quieran quedar a vivir en el campo, debemos llegar a un consenso del manejo racional del fuego y hay que saber explicarlo desde el colegio, sobre todo en las áreas rurales, para que el alumnado asuma el mensaje como algo propio.

## **2. La inflamabilidad de combustibles vegetales en la interfaz urbano-forestal: propuestas para mejorar los índices de riesgo en el Noroeste peninsular.**

Las escalas de trabajo para definir el riesgo y la vulnerabilidad en la interfaz urbano-forestal (IUF) implican una planificación en: (1) la macroescala o entorno forestal de la zona habitada (2) la mesoescala o entorno inmediato del área urbana o rural y (3) la microescala o parcela urbanizada con presencia de vegetación en torno a la vivienda (<https://wuiwatch.org/>). En todas ellas es fundamental la evaluación de la inflamabilidad de la vegetación y la modelización de combustibles forestales. La descripción y cartografía de la macroescala necesita un conocimiento detallado del comportamiento potencial del fuego que pueda impactar contra el área habitada. A su vez es fundamental conocer la relación entre agregación de la vegetación y las zonas habitadas para obtener una caracterización adecuada de las tipologías de IUF. En este sentido existen diversas aproximaciones en los últimos años, siendo el programa WUImap<sup>®</sup> desarrollado en el proyecto europeo FIREPARADOX (<http://www.fireparadox.org/>) y posteriormente extendido como programa RUImap<sup>®</sup> en el proyecto FUME (<http://fumeproject.uclm.es/>), el sistema más completo para caracterizar la IUF en Europa, estableciendo de esta manera 12 tipologías diferentes. El programa ha sido testado en diversas comarcas y regiones con buenos resultados y las salidas del mismo permiten establecer las relaciones directas de la tipología de interfaz con el régimen de incendios (Madrigal et al. 2013a) de tal forma que se puede priorizar acciones en aquellos tipos de interfaz más vulnerables a los incendios, al menos estructuralmente con el régimen de actual. Si se realizan modelizaciones en diversos escenarios se podrían inferir la vulnerabilidad a régimen de incendios futuros (Madrigal et al. 2017).

En la mesoescala (fajas permiterales de protección) y la microescala (parcelas) se exigirá un estudio más exhaustivo a nivel de estructura/especie presente puesto que todas ellas son el inicio potencial de nuevos focos de ignición por causa de pavesas y focos secundarios que ponen en riesgo cualquier estrategia de planificación de la extinción y de autoprotección de las viviendas. Trabajar en la macroescala y mesoescala implica generar cartografía de riesgo, exposición y vulnerabilidad y trabajar en la microescala implica también establecer estrategias concretas de ubicación del material inflamable entre las que se encuentra una adecuada gestión de la vegetación dentro de las parcelas o propiedades para evitar daños a la vivienda ("*pyrojardinería*"). Ello implica la elaboración de *rankings* de especies en cuanto a su comportamiento inflamable que pueden hacer recomendables determinados grupos de especies frente a otras para los diferentes usos ornamentales y distancias mínimas a las cuales puede ser recomendable su ubicación en las parcelas. La búsqueda de métricas comunes que permitan establecer estas clasificaciones de especies ha sido una preocupación por parte del sector de la protección frente a incendios forestales. En los últimos años se vienen proponiendo una serie de metodologías basadas en el ensayos de laboratorio de materiales vegetales que pueden contribuir a este proceso ya que se están utilizando dispositivos similares a los utilizados para caracterizar los materiales de construcción.

La gran problemática que plantea el Noreste peninsular en la gestión de la macroescala es que existe una alta proporción del territorio que se puede considerar, de hecho, interfaz urbano- forestal, por la estructura de propiedad y dispersión de la población en pequeños núcleos, casas y construcciones aisladas. Esto supone un reto desde el punto de vista de la planificación del riesgo y de la vulnerabilidad ya que la mayoría de los sistemas pensados al respecto implicarían situar en riesgo a prácticamente todo el territorio, cosa que sería inviable desde el punto de vista operativo. Por tanto desarrollar metodologías y sistemas de información que permitan priorizar las actuaciones presenta una importancia, si cabe, mayor en esta Comunidad Autónoma.

### **2.1. Evaluación de la inflamabilidad: aplicaciones a la mesoescala y microescala**

Las mayores aplicaciones de la caracterización de la inflamabilidad en la IUF son en la planificación de la mesoescala (entorno perimetral del área habitada) y la microescala (parcela con vivienda y/o construcción agraria). En el noroeste peninsular la mesoescala suele estar constituida por áreas agrarias, forestales y ganaderas que en los últimos tiempos están tendiendo al abandono o, al menos, a una disminución significativa en su intensidad de gestión. Todo ello, unido a las abundantes precipitaciones de la zona, sobre todo en las áreas más urbanizadas cercanas a la costa, implica la proliferación de especies de matorral que presentan una alta inflamabilidad. La gestión de estos matorrales se viene haciendo de manera mecanizada allí donde la topografía lo permite, o mediante el uso de quemas prescritas o controladas. De manera ilegal estos matorrales son quemados también mediante quemas no autorizadas (fenómeno del incendiarismo) que es un comportamiento habitual todos los años en esta área pero que en los últimos tiempos han desencadenado trágicos episodios como en el 2006 y 2017 que han generado serios problemas de protección civil y pérdida de vidas humanas.

En diferentes proyectos de investigación como FIREPARADOX (<http://www.fireparadox.org/>) o INFOCOPAS (<http://infocopas.agripa.org/>) se ha ensayado la inflamabilidad de matorrales del Noroeste peninsular en el túnel de viento del INIA (Madrigal et al. 2014). De igual forma se ha ensayado la inflamabilidad de la vegetación y de los restos procedentes de diferentes tratamientos selvícolas en matorrales de Galicia (desbroce con trituración, desbroce y extracción, quema prescrita) a diferentes escalas (Madrigal et al. 2012, Marino et al. 2010, 2011,2012, 2014). Los resultados obtenidos ratifican la alta inflamabilidad de los matorrales del Noroeste de España incluso a los 3 años de haberse realizado el tratamiento. En cuanto a la inflamabilidad de los triturados se han mostrado también mucho más inflamables que los restos procedentes de desbroces y quemas prescritas. De igual forma se ha testado el potencial de inflamación del primer verticilo de ramas procedente de un frente de fuego de tojo (*Ulex parviflorus*) y se ha comprobado que es significativamente mayor que el predicho por el modelo clásico de Van Wagner (1977), aunque del mismo orden de magnitud del predicho por el modelo de Cruz et al. (2004) (ver más detalles en Madrigal et al. 2013b). Esta serie de ensayos mostró que la carga de 2 kg/m<sup>2</sup> (20 t/ha) es una biomasa suficiente para hacer aparecer subida del fuego del matorral a las copas incluso con vientos moderados de 25-30 km/h.

En cuanto a los rankings de clasificación de especies por su inflamabilidad, en los últimos años se viene usando una nueva metodología (Madrigal et al. 2009, 2013c) que permite establecer clasificaciones en base, no sólo a los tiempos de ignición (ignitabilidad) tal y como las listas existentes hasta la fecha (Elvira y Hernando 1989), sino por la influencia del resto de los parámetros de la inflamabilidad: combustibilidad o velocidad de combustión, sostenibilidad o energía total emitida y consumibilidad o capacidad de combustión de la biomasa disponible. Estas variables medidas con mucho detalle durante los ensayos permiten conocer cómo se comporta la combustión de un especie en condiciones de fuerte radiación procedente del frente de llama (25-75 kW/m<sup>2</sup>). Los resultados comparativos (Figura 1) ofrecen diferentes comportamiento para las especies típicas del Noroeste peninsular en comparación con otras especies mediterráneas.

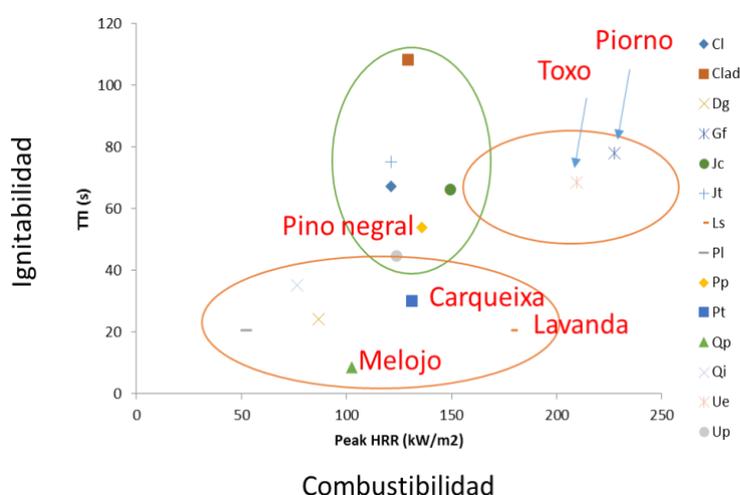


Figura 1. Clúster k-medias de clasificación de especies en tres categorías en función de su tiempo de ignición (ignitabilidad) y la tasa máxima de calor emitida (combustibilidad). Los ensayos se realizaron con calorímetro de pérdida de masa según la metodología propuesta en Madrigal et al. (2013c). Se unificó el contenido de humedad similar para todas las especies (~100%) expuestas a un flujo radiante de 50 kW/m<sup>2</sup>. Se destacan por su nombre vulgar algunas de las plantas típicas de ecosistemas del NO peninsular pertenecientes a los tres clúster seleccionados

Así, especies como el piorno o el tojo presentan combustibilidades muy altas a tiempos de ignición moderados. Sin embargo otras especies como la carqueixa o el melojo presentan tiempos bajos de ignición y combustibilidad de moderada a alta, en un valor intermedio entre la encina y la lavanda. En un grupo intermedio con tiempos de ignición en un amplio rango pero moderada combustibilidad encontramos las coníferas (pinos, enebros) y jaras. Por tanto, la carqueixa y el melojo por su bajo tiempo de ignición y el tojo por su alta combustibilidad, especies muy frecuentes en la mesoescala, debería ser prioritaria su gestión para reducir la probabilidad de aparición de focos secundarios (más probables en melojares y carqueixares) o de generación de frentes de alta intensidad radiativa y convectiva (tojo). Este tipo de clasificaciones también se podrían establecer con estudios *ad hoc* para las especies más empleadas en la interfaz de manera que nos ayude a mejorar los índices de riesgo. La inclusión de *rankings* de ignitabilidad se han mostrado eficaces para mejorar índices de riesgo en el sur de España (Molina et al. 2017), con lo que es previsible que índices más elaborados basados en clúster de clasificación de especies donde se incluya el resto de

parámetros de la inflamabilidad incrementará la robustez de dichos índices en su aplicación práctica.

Otra de las cuestiones importantes para determinar la inflamabilidad es el estado de humedad de los combustibles. La metodología propuesta permite comparar diferentes especies a similares estados de humedad o realizar seguimiento de especies concretas según su fenología anual, introduciendo con ello el efecto dinámico de la humedad en los índices propuestos. De hecho, la humedad de las plantas presenta tanta más importancia para definir su inflamabilidad cuanto más se vea disminuida la radiación procedente del frente de llama, siendo la humedad tanto más irrelevante a radiaciones más fuertes (Madrigal et al. 2013c). Comoquiera que la presencia de discontinuidades en el entorno de zonas habitadas y, en general, la actuación de los medios de extinción suele hacer disminuir la intensidad del frente de fuego en áreas habitadas respecto al frente de llama en evolución libre, el mantenimiento del estado de humedad de los combustibles en la mesoescala y microescala será un factor importante para disminuir el riesgo de ignición y combustión de la vegetación que ponga en peligro las viviendas. Si a ello le añadimos una gestión adecuada de la separación y distancias de la vegetación a la edificación, la autoprotección estaría garantizada o, al menos, la probabilidad de ignición en la vivienda se vería muy reducida. En los resultados de los ensayos descritos se ha comprobado la necesidad de mantener la humedad de matorral por encima del 70-100% y de las copas del arbolado por encima del 150% para disminuir significativamente la probabilidad de ignición y propagación.

## ***2.2. Recomendaciones para la gestión de la vegetación en la interfaz urbano-forestal basadas en estudios de inflamabilidad***

Según los resultados descritos demostrados con base científica, las recomendaciones para reducir el riesgo en la interfaz urbano-forestal del NO peninsular las podemos resumir en:

- 1) Los combustibles muertos en Galicia están disponibles para arder incluso a humedades del 20%, con lo que debemos asumir que presentan alto peligro de primavera a otoño a partir de las 48 horas sin lluvia, convirtiéndose en un factor que influye en el comportamiento del fuego pero que no discrimina la posible aparición de focos secundarios o comportamientos peligrosos para las viviendas o personas en la mesoescala y microescala.
- 2) Con humedad de los combustibles vivos por debajo del 70% los matorrales en el Noroeste peninsular presentan una alta probabilidad de ignición, con lo que puede ser un buen indicador de peligro alto en áreas de interfaz urbano forestal, sobre todo en las masas de matorral de mesoescala o áreas de cultivos abandonadas cerca de las edificaciones y viviendas. Este valor podría aplicarse a setos en el entorno de viviendas, tanto más en aquellas especies que además acumulen material muerto en el interior de la planta.
- 3) La presencia de cargas de combustible de más de 20 t/ha de matorral en la mesoescala pone en grave peligro a las edificaciones colindantes y supone un grave riesgo de subida de fuego a las copas en caso de presencia de arbolado. Este riesgo será tanto mayor si la discontinuidad entre matorral y el primer verticilo de ramas es menor de 2-3 m. Por tanto es especialmente peligrosa para la población la presencia de masas arboladas sin gestionar con matorral abundante bajo copas que se encuentren a una edad reducida dentro del turno o con una densidad intermedia que favorezca la entrada de luz y la aparición de ramas bajas vivas o ausencia de poda natural. En estas masas se debe plantear seriamente

la introducción de las podas y las quemas prescritas bajo arbolado como única alternativa posible en muchas zonas de difícil o imposible mecanización.

- 4) Las masas gestionadas puras o mixtas de tojo, carqueixa y brezal presentan una inflamabilidad similar a la biomasa antes del tratamiento a partir de los 3-5 años de la intervención. Por tanto es un reto mantener a menos de 10-15 t/ha estas masas, al menos en el entorno de zonas urbanas y rurales, para lo cual puede ser necesario el uso de todas las técnicas disponibles o la combinación de varias de ellas: desbroce y trituración mecanizada, pastoreo y quema prescrita.
- 5) Se pueden obtener *rankings* y clasificaciones de especies basadas en ensayos de laboratorio que mejoran los índices de riesgo. Si a ello podemos añadir la combinación de datos de laboratorio y campo los índices serán más robustos, abriendo la puerta a nuevas métricas que ayuden a planificar la gestión de la vegetación en la mesoescala y microescala mediante el uso de indicadores entendibles por los expertos en planificación urbanística. Esto dificulta las generalizaciones y, aunque se pueden llevar a cabo recomendaciones generales, parece necesario el desarrollo de índices locales que respondan adecuadamente a la realidad urbanística, rural y forestal de cada zona.
- 6) La tecnología satelital puede contribuir de manera significativa a la mejora de los índices para convertirlos en verdaderos índices dinámicos, recogiendo los cambios en la fisiología de las plantas y por tanto en su inflamabilidad y potencial energético en caso de ignición de plantas en el entorno de viviendas. Esto es especialmente crítico en la caracterización de los setos por lo que conllevan de peligrosidad a la propia vivienda y a la propagación a viviendas colindantes. Este problema hasta ahora no era frecuente en Galicia porque no era usual el uso de setos pero en los últimos tiempos se puede convertir en casos a considerar tal y como se está haciendo en otras zonas de Europa.

### **3. Gestión post-incendio como apoyo a la regeneración natural en áreas quemadas**

#### **3.1. Gestión, resistencia y resiliencia**

En el actual contexto de cambio global, el abandono rural y de usos y aprovechamientos tradicionales, están condicionando que el fuego sea en la actualidad el factor de perturbación más importante de nuestros ecosistemas. Actividades humanas como la ganadería extensiva, el pastoralismo y los aprovechamientos de madera se están reduciendo en muchos de nuestros bosques y, por tanto, la biomasa presente es consumida en los incendios y emitida a la atmósfera en lugar de ser transformada en otras formas de carbono. Por tanto, la gestión forestal debería encaminarse a corregir, en la medida de lo posible, estos desequilibrios energéticos en los ecosistemas y que el balance global de C a largo plazo permita una fijación neta y una sostenibilidad del sistema con la mayor diversidad y resiliencia posible. Efectivamente, el aumento de la biodiversidad y la tendencia a fomentar los bosques mixtos, se ha citado como una alternativa eficaz para que los sistemas forestales puedan resistir o recuperarse de un amplio rango de perturbaciones o cambios en el clima (Bravo-Oviedo et al. 2014). Sin embargo, al igual que en el siglo pasado la gestión forestal y, también, la investigación forestal europea han estado focalizadas básicamente en el sostenimiento del recurso “madera”, en las últimas décadas se han impulsado iniciativas de investigación que han permitido establecer unas bases de conocimiento sobre las especies, su ecología y productividad para permitir adaptar las herramientas de silvicultura clásica

(Redondo et al. 2018). Por otro lado, la sociedad exige, cada día más, que los bienes y servicios ecosistémicos sean la prioridad en muchas áreas forestales. En consecuencia, parece lógico utilizar el conocimiento científico y técnico sobre la respuesta de las masas forestales a la selvicultura y orientarlo hacia la consecución de estos objetivos, generando paulatinamente un cuerpo de doctrina sobre selvicultura adaptativa al cambio global. Sin embargo, este cambio no siempre ha venido acompañado de una visión transversal del fuego como elemento de perturbación principal de nuestros ecosistemas, observándolo en muchos casos como una perturbación estocástica o evitable y con propuestas de medidas que intentan fomentar la resistencia y no tanto la resiliencia a los incendios forestales.

DeRose y Long (2014) proponen dos nuevas definiciones que generan un marco conceptual en el cual la resistencia y la resiliencia son conceptos inequívocos y no intercambiables, a la vez que abre la puerta a la propuesta de herramientas de gestión en función de si el objetivo es aumentar la resistencia o la resiliencia del sistema a una determinada perturbación:

*Resistencia:* Influencia de la estructura y composición del rodal o paisaje en la severidad de la perturbación (Figura 1)

*Resiliencia:* Influencia de la perturbación en la estructura y composición de la vegetación resultante a escala de rodal y de la estructura y composición de rodales a escala paisaje.

Por tanto, si hablamos de un incendio como perturbación a caracterizar, de acuerdo con estas definiciones, la resistencia es la influencia de la estructura y composición en la severidad del fuego. En este contexto, todas las medidas clásicas de prevención de incendios en las que se actúa sobre los combustibles (cantidad, continuidad, especies, áreas estratégicas a escala de paisaje) estarían encaminadas a aumentar la resistencia del sistema puesto que lo que pretendemos es disminuir la severidad en caso de incendio, influyendo directamente sobre el comportamiento potencial del fuego. Sin embargo, la resiliencia al fuego sería la capacidad del sistema de regenerarse tras el incendio (no necesariamente para volver a la estructura original). Entonces, las medidas de gestión deberían ir encaminadas tanto a favorecer la capacidad de regeneración del sistema como a favorecer la presencia de especies con adaptaciones al fuego, aumentar la heterogeneidad espacial de los rodales y clases de edad, fomentar bosques mixtos con especies que tengan distintas estrategias de regeneración post-fuego (rebrotadoras, germinadoras), etc. Vemos que este nuevo paradigma se centra en los efectos de la estructura y composición, que son dos componentes de los sistemas forestales que pueden ser gestionados con la selvicultura, por lo que enfoca mucho mejor las posibilidades y alternativas de gestión y, por tanto, la toma de decisiones.

A la vista de lo comentado surgen una serie de cuestiones básicas cuando se aborda una toma de decisiones en la gestión post-incendio: ¿Podemos “diseñar” estrategias resistentes y resilientes desde los primeros estadios de la regeneración post-incendio?; ¿Puede, y en qué medida, ayudar la gestión forestal a los ecosistemas a recuperarse del incendio?; ¿En qué momentos es mejor no actuar?

### **3.2. Restauración activa y pasiva**

De manera tradicional, la restauración activa basada en la selvicultura ha dirigido las acciones de restauración en las áreas incendiadas. Los gestores forestales han venido realizando intervenciones post-incendio de las masas afectadas, tales como el apeo y extracción de la madera con fines fitosanitarios y de apoyo a la restauración. Además, se han primado las labores de extracción cuando ha existido la posibilidad de obtener un rendimiento económico de la madera

aprovechable y, finalmente, el impacto visual y emocional que supone un “paisaje quemado” en la población, principalmente en la comunidad local, también ha favorecido la realización de una gestión activa. En paralelo, las evidencias del cambio climático (calentamiento global, alteración en el régimen de las precipitaciones y aumento de la recurrencia e intensidad de perturbaciones naturales) han hecho que algunos autores replanteen las estrategias tradicionales de restauración post-incendio. Los trabajos de apeo y extracción mediante sistemas de arrastres de la madera quemada pueden activar procesos erosivos, eliminan buena parte de la capa de mulch de acícula soflamada que cubre el suelo en zonas de baja severidad del incendio y dañan al regenerado que hubiera podido establecerse con posterioridad al mismo. Por otra parte, el riesgo de problemas fitosanitarios está asociado a la permanencia de árboles debilitados dentro de la zona afectada por el fuego, pero no a la presencia de árboles muertos, y por tanto, la permanencia de la madera quemada en el interior del perímetro incendiado no incrementa la probabilidad de aparición de enfermedades y/o plagas forestales post-incendio, en cambio sí lo hace la no eliminación de árboles moribundos o debilitados (Sánchez et al. 2007). Como consecuencia, surgen estudios que recomiendan la permanencia de la madera quemada en la zona afectada (p.e. Castro et al. 2008, Marañón-Jiménez et al. 2009, Castro et al. 2013), indicando que no realizar labores de saca después de la primavera siguiente al incendio ocasiona múltiples beneficios ecosistémicos. Por otro lado, existen también evidencias de que la saca de madera quemada realizada con métodos que eviten los arrastres de madera (autocargadores) y durante el invierno posterior al incendio, antes del establecimiento del regenerado, no afecta negativamente a la regeneración natural y en algunos casos la beneficia (Madrigal et al. 2011, Carrillo et al. 2017). En cualquier caso la discusión sigue abierta y parece necesario huir de las generalizaciones, siendo necesario un estudio de cada caso concreto para tomar decisiones (ver metodologías propuestas por Vega et al. 2013, Alloza et al. 2014).

### ***3.3. Gestión de la madera quemada y régimen de incendios***

En el actual contexto de cambio global en el que se prevén incendios más frecuentes y severos, se imponen las tesis de que la mejor opción es coexistir con la presencia del fuego en nuestros ecosistemas, actuando en consecuencia de forma proactiva (Moritz et al. 2014). Una de las principales ventajas de extraer la madera quemada es disminuir la carga de combustible disponible para futuros incendios. Efectivamente, ya existen evidencias contrastadas en ecosistemas de Estados Unidos (Coppoletta et al. 2016) y Australia (Barker y Price 2018) de que existe un efecto positivo de la severidad del incendio en la severidad de incendios futuros. Estas conclusiones sugieren importantes implicaciones para la gestión post-incendio. En áreas donde se prevea un escenario de re-quema, por aumento de la frecuencia de incendios, la permanencia de la madera quemada generará incendios severos con importantes efectos en el suelo y en la regeneración de las especies arbóreas, tanto más si el nuevo incendio se produce en un período inferior a 15 años aproximadamente. Este período es también limitante para la regeneración de las coníferas españolas más adaptadas al fuego, lo que generaría una tendencia hacia el dominio de las rebrotadoras y las especies de matorral germinadoras obligadas, proceso de “matorralización” que se está observando en muchas áreas de Galicia. y que, a su vez, genera un nuevo ciclo de aumento de severidad debido al conocido proceso de autosucesión de especies favorecidas por el fuego.

### 3.4. El reto de la gestión del eucalipto

Si hay algo que caracteriza a Galicia en los últimos tiempos es la discusión a propósito de la gestión forestal del eucalipto. Hay suficientes evidencias científicas que muestran que la ausencia de gestión de los eucaliptares genera un alto peligro de incendios. Por tanto seguir fomentando el eucalipto en Galicia, región que como se ha comentado, presenta un grave problema social en el uso del fuego y abandono rural, plantea un dilema de difícil solución si no se plantean políticas activas al respecto. Además se presenta un riesgo elevado de que estas plantaciones abandonadas queden fijadas en el territorio por efecto de los incendios en lugar de ser colonizadas paulatinamente por la vegetación autóctona tal como ha ocurrido en algunas zonas de Galicia con menor aparición del fuego como las áreas protegidas de A Coruña y Lugo donde se ha comprobado que las plantaciones son paulatinamente desplazadas por abedul o robleal en ausencia de fuego. Por tanto gestionar los regenerados post-incendio de eucalipto en parcelas abandonadas, sobre todo en Pontevedra y Orense, parece una prioridad para mejorar la resiliencia del sistema a escala de paisaje.

### 3.5. Selvicultura como herramienta de restauración post-incendio

¿En qué medida la gestión forestal puede ayudar a aumentar la resiliencia en un contexto de cambio global? Las propuestas en este sentido parten de la contrastada eficacia de la gestión forestal para “ganar tiempo”. La selvicultura mediterránea propone tratamientos cercanos a la naturaleza, esto es, partiendo del temperamento, la estructura y la composición requeridas se proponen actuaciones selvícolas para intentar aprovechar la potencialidad de regeneración y crecimiento de las especies de interés. Por tanto, se intenta apoyar a la regeneración natural para: 1) Favorecer el número de individuos iniciales de la especie o especies objetivo; 2) Mejorar su probabilidad de supervivencia; 3) Dosificar la competencia; 4) Favorecer el crecimiento; 5) Favorecer la capacidad de regeneración en caso de nuevas perturbaciones. Estos procesos que se pueden conseguir de manera “natural” con la restauración pasiva (no actuar), pueden acelerarse mediante la ejecución de técnicas selvícolas (restauración activa), evitando el riesgo de degradación y de tendencia a la “matorralización”. De igual forma, se pueden establecer estrategias a escala de paisaje, de manera que se prioricen actuaciones, se intensifiquen donde sean necesarias o, en su caso, se deje de actuar donde el riesgo de intervención sea mayor que la no actuación. Esta elección cuidadosa del tipo de restauración necesaria a escala de rodal asegurará una variabilidad suficiente a escala de paisaje, uno de los principales objetivos para conseguir aumentar la resiliencia del sistema. La ejecución correcta y rigurosa de estas actuaciones evitaría, en muchos casos, la planificación de costosas repoblaciones que no siempre serían necesarias si la selvicultura a corto, medio y largo plazo estuviera planificada teniendo en cuenta el proceso de restauración.

Algunas actuaciones post-incendio que han demostrado su eficacia para la restauración de masas arbóreas son:

- 1) Mulching para la estabilización de terrenos afectados por fuegos de alta severidad (Vega et al. 2013). Este tratamiento para evitar la erosión y la pérdida de suelo a corto plazo se ha mostrado como altamente eficaz, tanto más en áreas de alta pluviometría durante el otoño, cuando aumenta dramáticamente el riesgo de pérdida de suelo.
- 2) Saca de madera quemada sin arrastres de madera. El uso de maquinaria que reduce la compactación del suelo y evita el arrastre de los fustes se ha mostrado como la técnica más eficaz para evitar cárcavas y rodadas que generen efectos erosivos a medio plazo. La corta

de madera en especies rebrotadoras como las del género *Quercus* favorece la producción de brotes de cepa y raíz que asegura la renovación de la parte aérea.

- 3) Dejar restos de madera muerta, ya sea en fajinas, dispersos superficialmente o triturados, se ha mostrado eficaz para interceptar semillas, en algunos casos escarificar conos que favorezcan la emergencia y en otros para proteger al regenerado una vez instalado. A medio plazo, la presencia de madera muerta se ha mostrado como un indicador de biodiversidad y mejora de servicios ecosistémicos. Para equilibrar los efectos positivos de la saca de madera (ver apartado 1.3) y los efectos beneficiosos de la presencia de madera muerta, parece razonable dejar al menos un porcentaje de fustes muertos sin sacar. Algo similar se hace en las cortas de regeneración por aclareo sucesivo o en las cortas a hecho con reserva de árboles madre. En ambos casos las reglas selvícolas permiten dejar los árboles viejos sin sacar (unos 10-20 pies/ha) aunque se haya conseguido la regeneración. En el caso de la saca tras incendio dejar este número de pies no incrementa significativamente la carga de combustible en un escenario de re- quema y permite aportar los beneficios de la madera muerta a escala de rodal y de paisaje.
- 4) Dosificación de la competencia intraespecífica mediante clareos tempranos e intensos o la saca tardía de madera muerta. Es frecuente que en algunas procedencias de *P. pinaster* con una altísima disponibilidad de semilla en el banco aéreo antes del incendio y su posterior liberación tras el paso del fuego, se generen rodales con abundante regeneración que puede alcanzar más de 100.000 pies/ha y que con mucha frecuencia se obtengan más de 10.000 pies/ha. En estas situaciones, los clareos manuales incluso en estado de brinzal puede ser una medida eficaz. Un efecto similar sería extraer la madera quemada 3-4 años tras el incendio en el caso de no haberla sacado en el primer año. La mortalidad inducida por la saca se ha contabilizado en aproximadamente el 30% de los pies, con lo que podría ser necesario incluso clareos adicionales a medio plazo. Clareos intensos del 80% de los pies a los 5-8 años de edad del regenerado son tratamientos a los que nuestros pinares suelen responder muy bien, mejorando el crecimiento y configuración de los pies restantes, aumentando la fructificación temprana y reduciendo la biomasa disponible en caso de incendio (Jiménez et al. 2007). La ausencia de tratamientos en estos rodales genera mortalidad por exceso de competencia, riesgo de decaimiento general y aumento de la probabilidad de aparición de plagas a medio plazo. Además, la presencia de más cantidad de biomasa total y de partes muertas aumenta la vulnerabilidad a la aparición de fuegos de copa muy intensos que anularía las posibilidades de regeneración en un escenario de aumento de frecuencia de incendios (González-Ferreiro et al. 2017).

En el caso de especies arbóreas rebrotadoras (*Quercus*), el fomento de brotes por efecto de la saca de la madera muerta genera una fuerte competencia entre los chirpiales sobre los que no se recomienda intervenir mediante resalveos hasta pasados al menos 15 años (Serrada 2003), cuando se haya producido la socialización y se reconozcan claramente los pies dominantes. En caso contrario, existe un fuerte riesgo de degradación, sobre todo en especies con fuerte capacidad de rebrote por raíces como el *Q. pyrenaica*.

- 1) Dosificación de competencia interespecífica. Los desbroces selectivos se han mostrado altamente eficaces para favorecer a las especies de interés. Las especies de matorral y

herbáceas favorecidas por el fuego tienen una alta capacidad de ocupar el espacio tras los incendios y ejercen una fuerte competencia con las especies arbóreas, sobre todo con las germinadoras obligadas como los pinos cuyo temperamento intolerante a la sombra suele generar pies dominados y con pocas probabilidades de convertirse en ejemplares de porvenir. Por tanto, si el objetivo de la restauración es recuperar la vegetación arbórea y conseguir masas mixtas con presencia de pinos, los desbroces selectivos en torno a los ejemplares de interés generan en pocos años una respuesta muy buena en el crecimiento que ayuda a aumentar su establecimiento y probabilidad de supervivencia. Lo mismo podríamos aplicar a los *Quercus* bajo cubierta de eucaliptal en los que se pretenda avanzar hacia la sustitución de especie a largo plazo.

- 2) Densificación y enriquecimiento. Si a pesar de ejecutar las medidas anteriores no se consigue la regeneración natural y la restauración no cumple los objetivos planteados puede ser necesario realizar siembras y/o plantaciones. Esto suele ser casi obligado en especies arbóreas con pocas adaptaciones a fuegos severos como es el caso de algunas especies de pino (*P. nigra*, *P. sylvestris*). No obstante y teniendo en cuenta el escenario de cambio global previsto se debe ser especialmente cuidadoso en la elección de especie o incluso en la elección de procedencias. En el caso de *P. pinaster* con gran cantidad de procedencias, muchas de ellas con baja serotinia, se podría plantear el uso de procedencias serótinas si el objetivo fundamental de las masas es aumentar la resiliencia. De igual manera, parece interesante abrir la posibilidad a la convivencia de germinadoras obligadas y rebrotadoras, máxime cuando las condiciones de cambio climático predicen que algunos *Quercus* podrían empezar a estar al límite de su estación en muchas áreas más mediterráneas de Orense, aumentando el riesgo de decaimiento y secas. En cambio es previsible que existan cada vez mejores estaciones en el resto de Galicia para estas frondosas que ya se está comprobando su regeneración bajo cubierta de eucalipto y pino. Por tanto parece necesario aprovechar la oportunidad que ofrece la gestión post-incendio para favorecer la mezcla de especies y la paulatina sustitución del eucalipto allí donde los propietarios no realicen una gestión activa de sus explotaciones.

Si el objetivo de la restauración es favorecer especies arbustivas o herbáceas, ya sea por su singularidad y/o porque se considera que cumplen mejor los servicios ecosistémicos (hábitat para la fauna, biodiversidad específica, genética y estructural, paisaje, etc.), en general, la restauración pasiva suele ser la mejor opción, siempre teniendo en cuenta que, como se ha comentado, el sistema será muy vulnerable en un escenario de alta frecuencia de incendios.

### **3.6. Nuevas propuestas en el contexto de cambio global para los espacios protegidos: la introducción del fuego en la gestión de nuestros ecosistemas**

Existe un fuerte consenso en la comunidad científica internacional que en los ecosistemas mediterráneos la premisa fundamental es la de convivencia con los incendios forestales. Esto incluye los espacios naturales protegidos, lo que sugiere la pregunta de si realmente los espacios naturales protegidos están protegidos frente a los incendios. El abandono rural unido a una política de restricción de usos y aprovechamientos, sobre todo en los espacios con alguna figura de protección, están generando beneficios positivos a corto plazo, observándose mejora en la

biodiversidad y recuperación paulatina de muchas funciones ecológicas alteradas por la actividad humana. Sin embargo, está provocando una fuerte vulnerabilidad a los incendios forestales por acumulación de biomasa disponible (p. ej., incendio de Fragas de Eume). En general, la recuperación de los ecosistemas suele ser adecuada pero las predicciones de cambio climático sugieren que algunas especies podrían empezar a estar al límite de su plasticidad. De igual manera, el previsible aumento de la frecuencia y severidad de los incendios y la demostrada relación positiva entre ambos procesos, obliga a establecer medidas para romper este círculo vicioso. Las nuevas propuestas en Europa ya se vienen practicando desde hace años en otros países y no es otra que la reintroducción del fuego en los ecosistemas de manera planificada. El fuego prescrito es una técnica contrastada y compatible ecológicamente con la mayoría de nuestros ecosistemas y permitiría aumentar la resistencia y resiliencia (DeRose y Long 2014):

- 1) La reducción de combustible disponible mediante quemas prescritas permite reducir la severidad en caso de incendio, tanto más si se establece como herramienta a escala de paisaje. Por tanto estamos **mejorando la resistencia** del sistema a grandes incendios y permitiendo que se produzcan incendios de media y baja severidad y en menor medida los de alta severidad.
- 2) La gestión de áreas quemadas de alta severidad a medio plazo con quemas prescritas permite romper el efecto de retroalimentación por el cual debemos esperar nuevos incendios de alta severidad. Por tanto **la resiliencia** del sistema ante nuevas perturbaciones dependerá de cómo consigamos romper este proceso simulando activamente incendios de media y baja severidad mediante programas de quemas prescritas.

En el contexto social en el que nos encontramos es, por tanto, fundamental transmitir al público en general y a los técnicos en particular que la introducción del fuego en nuestros ecosistemas podría ser una herramienta indispensable para salvar a nuestros bosques de los incendios de alta severidad, reduciendo su vulnerabilidad frente a nuevas perturbaciones.

## Referencias

- Alloza JA, García S, Gimeno T, Baeza J, Vallejo VR, Rojo L, Martínez A (2014) Guía Técnica para la restauración de bosques quemados. MAPAMA. Madrid. 188 pp.
- Barker JW, Price OF (2018) Positive severity feedback between consecutive fires in dry eucalypt forests of southern Australia. *Ecosphere* 9(3):e02110. 10.1002/ecs2.2110
- Bravo-Oviedo, A., Pretzsch, H., Ammer, C., Andenmatten, E., Barbati, A., Barreiro, S., (...), Zlatanov, T. (2014). European mixed forests: definition and research perspectives. *Forest Syst.* 23 (3): 518-533.
- Carrillo C, Madrigal J, Hernando C, Díez C, Espinosa J, Guijarro M (2017) Efecto de la severidad del fuego, la saca de la madera quemada y factores ecológicos locales en la regeneración de *Pinus pinaster* Ait. tras el gran incendio forestal de El Rodenal de Guadalajara (2006-2016) En: 7º Congreso Forestal Español. Mesa Restauración Forestal, Plasencia 26-30 de junio de 2017. SECF. Disponible on-line en <https://7cfe.congresoforestal.es/actas>.
- Castro J, Leverkus .B, Marañón-Jiménez S, Serrano-Ortiz P, Sánchez-Cañete E., Reverter BR, Guzmán-Álvarez JR, Kowalski AS (2013) Efecto del manejo de la madera quemada sobre la

- restauración y regeneración post-incendio: implicaciones para la gestión y para el conjunto del ecosistema. Actas del 6º Congreso Forestal Español, 10-14 de junio, Vitoria-Gasteiz, Ref.: 6CFE01-242
- Castro J, Sánchez-Miranda Á, Lorite J, Zamora R (2008) Efectos 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 SECF, 28: 31-36
- Coppoletta M, Merriam KE, Collins BM (2015) Post-fire vegetation and fuel development influences fire severity patterns in reburns. *Ecological Applications*, 26(3): 686–699
- Cruz, M.G., Alexander, M.E., Wakimoto, R.H., 2004. Modeling the likelihood of crown fire occurrence in conifer forest stands. *For. Sci.* 50 (5), 640-658
- De Rose RJ, Long JN (2014) Resistance and Resilience: A Conceptual Framework for Silviculture. *For. Sci.* 60(6):1205–1212
- Elvira, L.M., Hernando C. (1989) Inflamabilidad y energía de las especies de sotobosque: estudio piloto con aplicación a los incendios forestales, Colección Monografías INIA, Madrid, 1989, p. 99
- González-Ferreiro E, Arellano-Pérez S, Castedo-Dorado F, Hevia A, Vega JA, Vega-Nieva D, Álvarez-González JG, Ruiz-González AD. 2017. Modelling the vertical distribution of canopy fuel load using national forest inventory and low-density airborne laser scanning data. *PLOS ONE* 12(4): e0176114
- Jiménez E., Vega J. A., Pérez-Gorostiaga P., Cuiñas P., Fonturbel T., Fernández C., Madrigal J., Hernando C., Guijarro M. (2007) Effects of pre-commercial thinning on transpiration in young post-fire maritime pine stands. *Forestry* 81(4): 543- 557
- Madrigal J, Fernández-Migueláñez I, Hernando C., Guijarro M., Vega-Nieva D.J., Tolosoana E (2017) Does forest biomass harvesting for energy reduce fire hazard in Mediterranean basin? A case study in Coroig Massif (Eastern Spain). *Eur J For Res* 136 (1): 13-26
- Marino, E., Madrigal, J., Guijarro, M., Hernando, C., Díez, C., Fernández, C., 2010. Flammability descriptors of fine dead fuels resulting from two mechanical treatments in shrubland: a comparative laboratory study. *Int. J. Wildland Fire* 19 (3), 314-324.
- Madrigal J, Guijarro M, Hernando C, 2014. El Túnel de Viento del INIA-CIFOR como dispositivo experimental para el estudio de los incendios forestales. *Cuad. Soc. Esp. Cienc. For.* 40: 203-214
- Madrigal J, Hernando C, Guijarro M (2011) La gestión post-incendio como apoyo a la regeneración natural y a la restauración tras el gran incendio del Rodenal de Guadalajara: efectos sobre la supervivencia y crecimiento de los brinzales de *Pinus pinaster* Ait. *Spanish Journal of Rural Development*, II (3): 1-14
- Madrigal J, Hernando C, Guijarro M, Díez C, Marino E and De Castro A J (2009) Evaluation of forest fuel flammability and combustion properties with an adapted mass loss calorimeter device. *J Fire Sci* 27 (4): 323-342
- Madrigal J. (2017). Frenar los incendios de invierno en la Cornisa Cantábrica. *Fuegolab blog* [disponible on line en <http://fuegolab.blogspot.com/2017/01/mi-carta-los-reyes-magos-frenar-los.html>]
- Madrigal Olmo, J. (2017). El arte de prevenir incendios. Cuadernos de La Sociedad Española De Ciencias Forestales, (43). <https://doi.org/10.31167/csef.v0i43.17530>

- Madrigal, J, Ruiz J.A., Planelles, R., Hernando C. 2013a. Characterization of wildland-urban interfaces for fire prevention in the province of Valencia (Spain). *Forest Systems* 22(2), 249-254
- Madrigal, J., Hernando, C., and Guijarro, M. (2013). A new bench-scale methodology for evaluating flammability of live forest fuels. *J. Fire Sci.* 31, 131–142.
- Madrigal, J., Hernando, C., Guijarro, M., Díez, C., Carrillo, C., 2013b. Simulación de subida de fuego a copas en túnel de viento: resultados preliminares para la validación de modelos aplicados a la prevención de incendios. En: VI Congreso Forestal Español. Sociedad Española de Ciencias Forestales. Vitoria Gasteiz 10-14 junio 2013.
- Madrigal, J., Marino, E., Hernando, C., Guijarro, M., Díez, C., 2012. Evaluation of the flammability of gorse (*Ulex europaeus* L.) managed by prescribed burning. *Ann. For. Sci.* 69 (3), 387-397
- Marañón-Jiménez S, Castro J, Kowalsk, AS, Serrano-Ortiz P, Ruíz B, Sánchez-Cañete EP, Zamora R (2009) Efecto de los tratamientos forestales post-incendio sobre los flujos de CO<sub>2</sub> de respiración del suelo. *Actas del 5º Congreso Forestal Español*, 21-25 de septiembre, Ávila, Ref.: 5CFE01-433.
- Marino, E., Guijarro, M., Hernando, C., Madrigal, J., Díez, C., 2011. Fire hazard after prescribed burning in a gorse shrubland: implications for fuel management. *J. Environ. Manage* 92, 1003-1011.
- Marino, E., Hernando, C., Madrigal, J., Díez, C., Guijarro, M. 2012. Fuel management effectiveness in a mixed heathland: a comparison of the effect of different treatments types on fire initiation risk. *Int. J. Wildland Fire* 21 (8): 969-979
- Marino, E., Hernando, C., Madrigal, J., Guijarro, M., .2014. Short-term effect of fuel treatments on fire behaviour in a mixed heathland: a comparative assessment in an outdoor wind tunnel. *Int. J. Wildland Fire* (en prensa DOI: 10.1071/WF13175)
- Molina, J. R., Martín, T., Rodríguez, Y., Silva, F., and Herrera, M. A. (2017). The ignition index based on flammability of vegetation improves planning in the wildland-urban interface: a case study in Southern Spain. *Landsc. Urban Plan.*158, 129–138.
- Moritz MA, Batllori E, Bradstock RA, Gill MA, Handmer J, Hessburg PF, Leonard J, McCaffrey S, Odion DC, Schoennagel T, Syphard AD (2014) Learning to coexist with wildfire. *Nature* 515: 58-66
- Redondo C, Mutke S, Adams S, Bonet JA, Calama R, Calvo J, Sánchez González M, Rubio R, Martínez de Arano I (2018). Productos forestales: más allá de la madera. *Foresta* 70: 48-55
- Sánchez G, Campaña C, González E (2007) Efectos secundarios de grandes incendios forestales: situaciones de alerta fitosanitaria. Modelización y control de agentes dañinos oportunistas. Disponible en: *Actas del IV Congreso Internacional sobre Incendios Forestales*, 13-17 de mayo, Sevilla, soporte CD-ROM (ISBN: 978-84-8014-690-6)
- Serrada R (2003) Regeneración natural: situaciones, concepto, factores y evaluación. *Actas de la III Reunión sobre Regeneración Natural-IV Reunión sobre Ordenación de Montes*, Cuadernos de la SECF, 15: 11-15
- Van Wagner, C. E., 1977. Conditions for the start and spread of crown fire. *Can. J. For. Res.* 7: 23–34.

Vega JA, Fonturbel MT, Fernández C, Arellano A, Díaz-Raviña M, Carballas T, Martín A, González-Prieto S, Merino A, Benito E (2013) Acciones urgentes contra la erosión en áreas forestales quemadas. Xunta de Galicia. 140 pp.

Walker B, Holling CS, Carpenter SR, Kinzig A (2004) Resilience, adaptability and transformability in social-ecological systems. *Ecol. Soc.*



© 2020 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).