



Ciencia para
las Políticas
Públicas

Incendios forestales

Coordinado por:

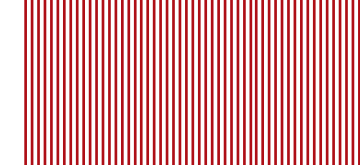
Cristina Santín · Javier Madrigal · Xim Cerdà · Juli Pausas



CSIC

CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS

SCIENCE **4** POLICY

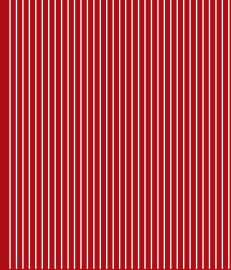


Ciencia para las Políticas Públicas



Informe de transferencia
de conocimiento





Este es un libro de acceso abierto distribuido bajo los términos de la licencia de uso y distribución Creative Commons Reconocimiento 4.0 Internacional [CC BY 4.0].
Más información sobre esta licencia en <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

Las noticias, los asertos y las opiniones contenidos en esta obra son de la exclusiva responsabilidad del autor o autores. La editorial, por su parte, solo se hace responsable del interés científico de sus publicaciones.

Catálogo de publicaciones de la Administración General del Estado:
<https://cpage.mpr.gob.es>

EDITORIAL CSIC: <http://editorial.csic.es> (correo: publ@csic.es)



Departamento de Comunicación
Gabinete de Presidencia
Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Calle Serrano 117
28006 Madrid
Email: comunicacion@csic.es

NIPO: 833-23-053-4
e-NIPO: 833-23-054-X
Depósito Legal: M-16500-2023

Edición no venal

Coordinado por:
Cristina Santín
Javier Madrigal
Xim Cerdà
Juli Pausas

Coordinador de la colección Ciencia para las Políticas Públicas:
Alberto Mercado

Edición:
Abel Grau, Alejandro Parrilla

Fotógrafos:
César Hernández (CSIC Comunicación)
JM Vidal-Cordero (EBD)
Cayetano Espigares (Infoca)
Imágenes cedidas por el Plan de Emergencias por Incendios Forestales de la Junta de Castilla-La Mancha (Infocam) y de la Junta de Andalucía (Infoca)

Infografía:
Yolanda Clemente,
Irene Cuesta

Diseño y maquetación:
David Pamplona Roche

Impreso en España. *Printed in Spain*

En esta edición se ha utilizado papel ecológico sometido a un proceso de blanqueado ECF, cuya fibra procede de bosques gestionados de forma sostenible.



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución 4.0 Internacional.

EL CSIC tiene entre sus funciones la de informar, asistir y asesorar en materia de ciencia y tecnología a entidades públicas y privadas, según recoge el artículo 5 de su Estatuto. Enmarcado en este cometido, el presente informe *Incendios forestales*, de la colección Ciencia para las Políticas Públicas, se presenta como un documento dirigido a las administraciones y a la sociedad en general. En él se explican conceptos básicos sobre los incendios forestales, se enumeran sus principales impactos en los ecosistemas y en la sociedad, y se desgranán algunas de las líneas de investigación del organismo más destacadas para la gestión sostenible de paisajes propensos a arder.

ÍNDICE

uno

|||||

¿Qué son los incendios forestales?

- 1.1. Características y tipos
- 1.2. Ingredientes para los incendios
- 1.3. Los incendios y los seres humanos
- 1.4. Impactos medioambientales de los incendios
- 1.5. Impactos socioeconómicos de los incendios
- 1.6. Convivir con el fuego

dos

|||||

Cómo mejorar la gestión de los incendios, según la ciencia

- 2.1. Gestión de los regímenes de incendios
- 2.2. Gestión preincendio y prevención social
- 2.3. Durante el incendio
- 2.4. Gestión posincendio
- 2.5. Gestión integrada del fuego

tres

|||||

Conclusiones y recomendaciones

cuatro

|||||

Listado de centros



UNO

¿Qué son los incendios forestales?

Los incendios forestales son **fuegos no planificados e incontrolados en entornos silvestres**, que se propagan por la vegetación, ya sea bosque, matorrales, pastizales, cultivos u otros tipos. Se diferencian así de los incendios estructurales, como los que suceden en edificaciones, o las quemaduras prescritas, que se llevan a cabo con propósitos de gestión del territorio.

Los incendios forestales constituyen una de las principales perturbaciones en muchos ecosistemas, especialmente en los mediterráneos. Los ecosistemas atlánticos también se ven frecuentemente afectados por incendios, a pesar de que su climatología no es tan favorable para los mismos como en la España mediterránea. De media, en España, se queman cada año unas 100 000-120 000 hectáreas, aunque varía mucho año a año. El 2022, por ejemplo, fue especialmente severo, con más de 310 000 hectáreas afectadas. Esa cifra supuso el 39% del total de área ardiendo en la Unión Europea ese año.

Gráfico 1.1 Grandes incendios forestales y superficie quemada

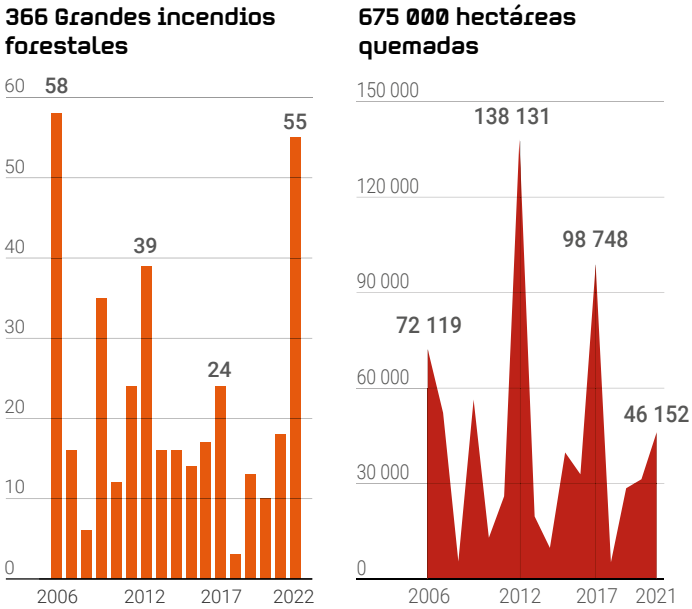


Gráfico 1.2 Grandes incendios en España desde 1968 hasta 2021

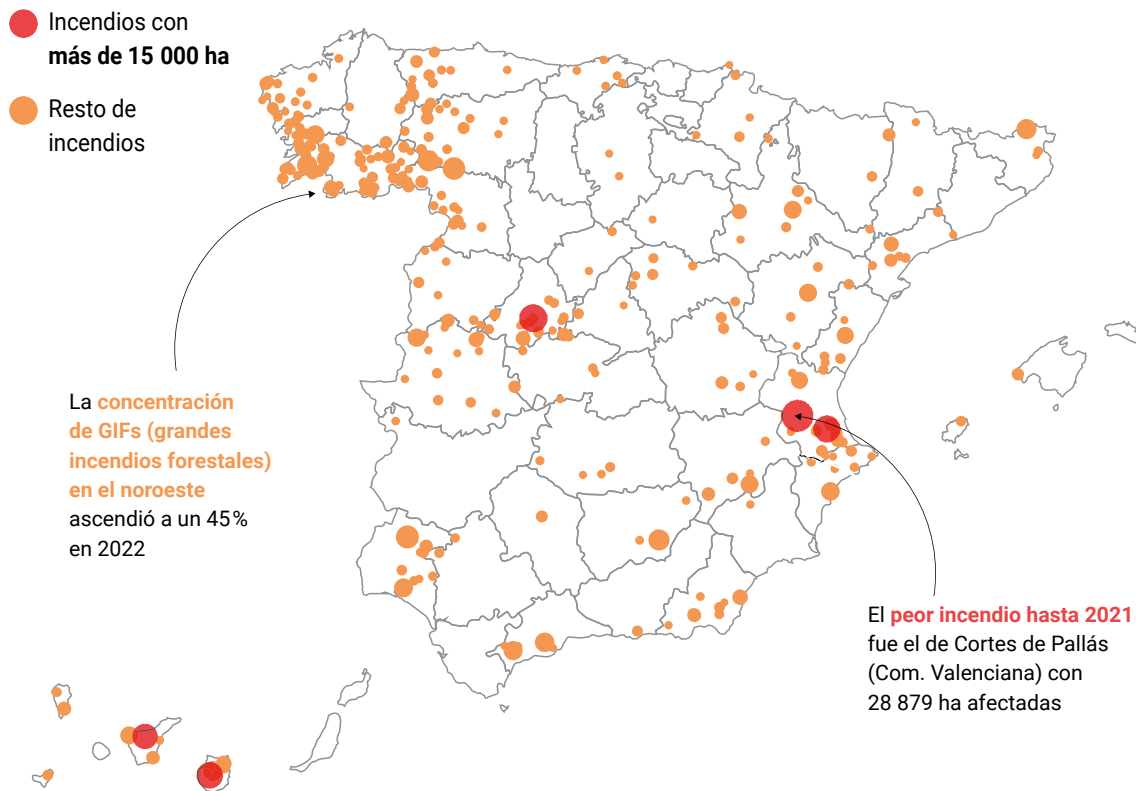
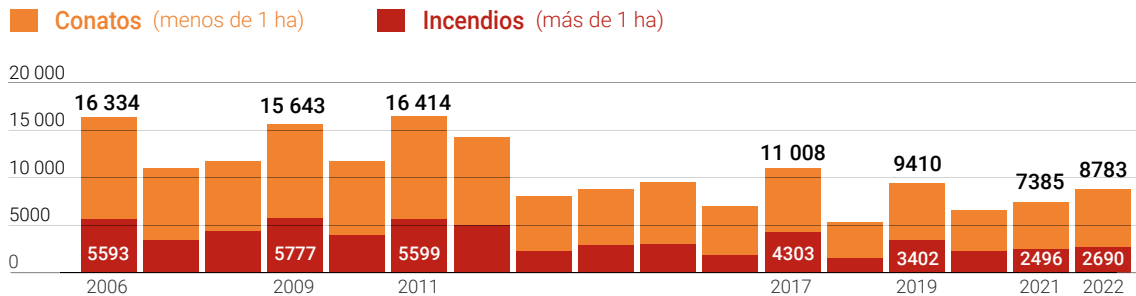


Gráfico 1.3 Número de incendios en España



Hoy en día, los cambios en el clima y en los usos del suelo, todos ellos causados por el ser humano, están produciendo modificaciones de los regímenes de incendios. En muchos casos, esto genera incendios más frecuentes, grandes o intensos que amenazan el equilibrio de los ecosistemas y, muchas veces, también a infraestructuras y personas. En España, la proporción de superficie quemada por grandes incendios forestales o GIF (aquellos con una extensión superior a 500 hectáreas) ha aumentado en los últimos años. Además, se han registrado ya megaincendios que liberan tal cantidad de energía que provocan grandes incendios, comprometiendo gravemente la seguridad humana y amplificando los impactos medioambientales y socioeconómicos negativos del fuego.

Es importante entender que, a pesar de las consecuencias antes referidas, el fuego es un agente natural y necesario en muchos ecosistemas. El fuego contribuye al rejuvenecimiento de la vegetación, al reciclado de nutrientes e incluso, en escalas temporales más amplias, a la evolución de las especies.

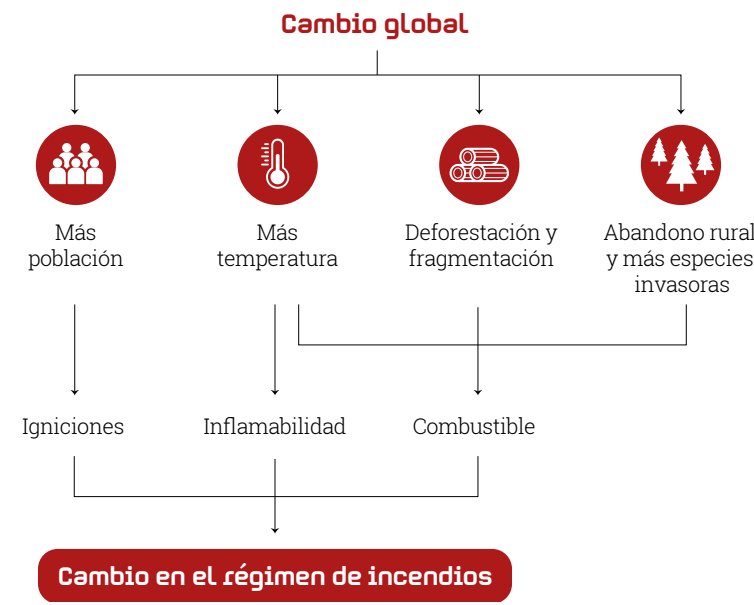
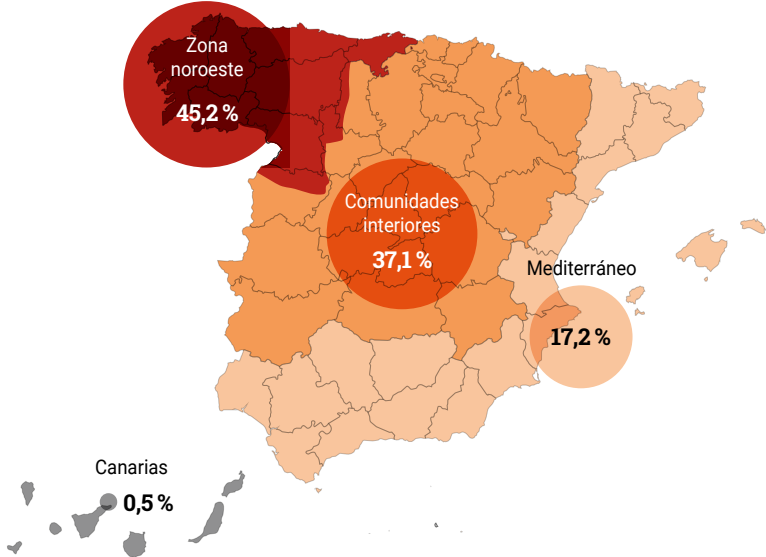


Gráfico 1.4 Incendios por regiones en 2022

Porcentaje sobre el total de incendios en 2022



La contribución beneficiosa de los incendios a los ecosistemas y, por tanto, a los seres humanos necesita ser reconocida no solo desde el ámbito de la investigación, sino también en el de la gestión política. Hasta la fecha, las decisiones políticas más habituales se centran en extinguir los incendios a cualquier coste, sin reconocer los beneficios que el fuego puede aportar bajo ciertas circunstancias.



Efectivos del Servicio de Extinción de Incendios Forestales de Andalucía. / INFOCA

11.

Características y tipos de incendios

El conjunto de características de los incendios en una región o ecosistema determinado se denomina **régimen de incendios**, y se define principalmente por la frecuencia, la intensidad, la estacionalidad, la extensión y el tipo de incendios. A continuación, se explican algunas de estas características.

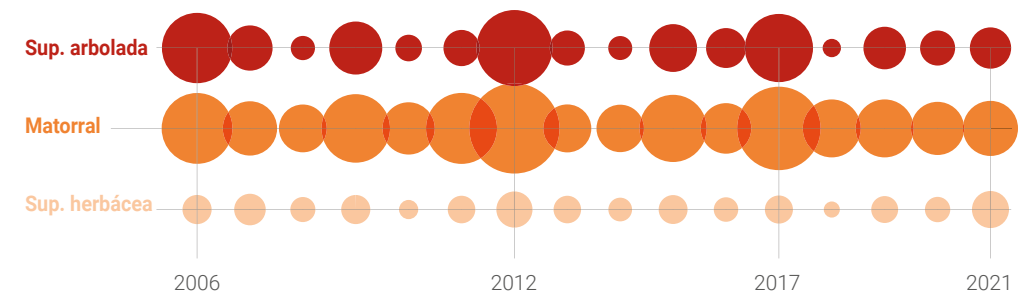
- **Intensidad:** Se define como *intensidad* el total de energía liberada por las llamas por metro lineal del avance del incendio (kW/m). Es una característica clave en la lucha contra el fuego y puede abarcar desde menos de 500 kW/m en zonas con poco combustible disponible (por ejemplo, en praderas) hasta 100 000 kW/m en incendios extremos en masas forestales densas. Intensidades superiores a 4000 kW/m se consideran fuera de la capacidad de supresión directa.
- **Frecuencia:** La frecuencia es el número de veces que una misma zona se quema en un periodo de tiempo determinado. Otra medida relacionada es la recurrencia, el tiempo medio de intervalo entre incendios consecutivos.
- **Severidad:** La severidad del incendio se define como el grado en que un área ha sido alterada directamente por el incendio. También se puede definir como el daño o impacto biológico que ha generado el incendio. Principalmente se describe según el grado de destrucción de la vegetación y, en algunos casos, del suelo. El grado de severidad depende del objeto de la medición. Así, la severidad de un incendio puede ser diferente a nivel de suelo o de planta, e, incluso, un mismo incendio puede ser muy severo para unas especies y poco para otras.

Tipos de incendios forestales

Los incendios forestales se pueden clasificar según los estratos verticales de vegetación que queman.

- **Los incendios de superficie** solo queman los combustibles presentes en los estratos inferiores, tales como hierba, hojarasca, madera muerta y arbustos, sin pasar al arbolado. Estos incendios tienen amplio rango de comportamiento, pero suelen ser relativamente poco intensos.
- **Los incendios de copa** queman árboles incluyendo sus copas. Estos fuegos son más intensos que los de superficie y a menudo más rápidos y peligrosos, pero también suelen ser menos frecuentes. En condiciones extremas, pueden generar megaincendios que interaccionan con la atmósfera, provocando comportamientos del fuego erráticos y de muy alta intensidad (tormentas de fuego).
- **Incendios de suelo** ocurren en las acumulaciones de materia orgánica o en turberas que se secan lo suficiente como para quemar de forma latente (combustión sin llama). Estos incendios, que se mueven muy lentamente, pueden ocurrir de forma muy profunda en suelos orgánicos y son muy difíciles de apagar. En algunos casos, los incendios de suelo duran varios meses o años; pueden seguir ardiendo durante el invierno, incluso bajo la cubierta de nieve, y volver a hacer ignición como fuegos superficiales o de copa tras la estación fría. Por ello también se conocen como incendios *hibernantes* o *zombies*.

Gráfico 1.5 Extensión afectada en diferentes tipos de superficies



12.

Ingredientes para los incendios

Los componentes esenciales para la aparición del fuego son el combustible, el calor y el oxígeno. A estos tres ingredientes juntos a menudo se les llama el *triángulo del fuego*. En cuanto al paisaje, para que el fuego se propague y genere un incendio forestal, se requiere que se den los siguientes factores de manera simultánea: igniciones (naturales o antrópicas), continuidad de la vegetación (combustible) y una estación seca, que hace que los combustibles estén disponibles. La relación de estos tres factores con los incendios no es lineal, sino de tipo umbral; es decir, hay un nivel de igniciones, de continuidad de vegetación y de sequedad a partir del cual la probabilidad de incendio se dispara. Además de estos requisitos, el comportamiento del fuego está condicionado principalmente por otros dos condicionantes: la meteorología y la topografía. Es decir, en días con temperaturas especialmente elevadas (olas de calor) o con humedad baja o con vientos fuertes o en zonas con fuertes pendientes, se necesita menos igniciones o menos continuidad de combustible para que se generen incendios más intensos o de mayor superficie. A continuación, se explican todos estos factores con más detalle.

Ingredientes principales:

- **Oxígeno:** El oxígeno es necesario para la reacción química de oxidación que es la combustión. La composición actual de la atmósfera terrestre, con un 21 % de oxígeno, hace que este no sea normalmente un factor limitante (se necesita al menos un 16 % de oxígeno para que la reacción de combustión se produzca).
- **Combustible:** El combustible para los incendios lo proporciona principalmente la vegetación, tanto viva como muerta, en tanto que está lo suficientemente seca como para arder (combustible disponible). Incluye hojarasca, restos de madera muerta, hierbas, matorrales/arbustos, árboles, turba y materia orgánica del suelo. Su inflamabilidad depende en parte de su humedad, por lo que las variables meteorológicas, como la lluvia, la temperatura y la humedad atmosférica, son determinantes clave para el riesgo de incendios. La inflamabilidad del material también está determinada por su tamaño, estructura y composición química. Normalmente, los com-

bustibles más finos, como hojas y cortezas, tienden a secarse antes y a quemarse más fácilmente que, por ejemplo, grandes restos de madera muerta. Además, los troncos de árboles vivos no suelen arder y, por tanto, aportan muy poco combustible durante la mayoría de incendios. La vegetación rica en ceras, aceites o en compuestos orgánicos volátiles (por ejemplo, las plantas aromáticas) es muy inflamable. La continuidad espacial del combustible, tanto vertical como horizontal, también es clave para la propagación del fuego.

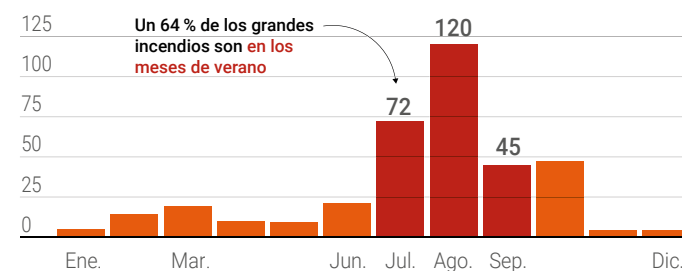
Gráfico 1.6 Triángulos del fuego



- Modificadores del comportamiento del fuego:

- **Meteorología:** El tiempo meteorológico más favorable a los incendios es el que combina una baja humedad relativa del aire, temperaturas cálidas y vientos fuertes. Estos factores facilitan la sequedad del combustible, así como la propagación de un incendio tras la ignición. El viento fuerte acelera el avance de las llamas y facilita que llegue oxígeno. Además, contribuye al transporte de ascuas o pavesas que pueden iniciar nuevos fuegos por delante del avance del propio incendio (incluso a kilómetros de distancia). La regla del 30-30-30 se usa para indicar un tiempo meteorológico muy favorable a los incendios: la temperatura del aire excede los 30 °C, la velocidad del viento excede los 30 km/h y la humedad relativa es menor del 30 %. Por otra parte, los rayos de tormentas eléctricas secas son la principal fuente de ignición natural.
- **Topografía:** La pendiente y la topografía general del terreno también afectan al comportamiento del incendio. Por ejemplo, el incendio tiende a avanzar más rápido y se hace más intenso sobre pendientes pronunciadas, ya que las llamas que ascienden calientan y secan la vegetación con mayor eficacia. Además, hay interacciones importantes entre la topografía, los combustibles y la meteorología local: en laderas de solana los combustibles tienden a estar más secos y en las vaguadas con cauces de agua, más húmedos. La topografía influye en los vientos locales de ladera y las brisas marinas de zonas cercanas a la costa. En configuraciones topográficas complejas, como vaguadas pronunciadas, se pueden producir fenómenos de aceleración de frentes de llama denominados *fuegos eruptivos*.

Número de incendios al año



13.

Los incendios y los seres humanos

Los incendios existen en nuestro planeta desde el inicio de los ecosistemas terrestres, hace unos 420 millones de años. En tiempos previos a los seres humanos, la incidencia de incendios estaba determinada por el clima y el tipo de vegetación. Sin embargo, hoy en día, la acción humana es también un factor clave en muchas regiones; altera la actividad de los incendios de diversas maneras: iniciándolos; sofocándolos; modificando la cantidad, la continuidad y el tipo de combustible disponible, y también modificando el clima.

Durante miles de años, los seres humanos han utilizado el fuego como una forma de gestión del paisaje; por ejemplo, para transformar zonas boscosas y de matorrales en zonas agrícolas, para mantener pastos aptos para el ganado, y para eliminar residuos agrícolas y fertilizar el suelo. Junto con estas prácticas tradicionales, en las últimas décadas ha surgido el concepto de *quema prescrita*, que consiste en el uso del fuego de manera controlada pero también planificada, de manera que se ejecute dentro de una «ventana de prescripción», esto es, bajo unas condiciones meteorológicas específicas que permitan predecir el comportamiento del fuego y sus efectos en el ecosistema en un área delimitada. Su objetivo más extendido es la disminución de la probabilidad o intensidad de incendios futuros mediante reducción de combustible, pero también se usa para regeneración de pastos o, incluso, para restaurar hábitats naturales para fauna o flora que necesitan espacios abiertos. Además, la quema prescrita es una herramienta fundamental en la conciliación de intereses allí donde el fuego es una práctica tradicional con alto arraigo cultural. Bajo este paraguas, aparece el término *pastoralismo pírico*, que consiste en combinar quemas prescritas con el manejo de la ganadería extensiva, supervisando técnicamente el proceso y los efectos en la vegetación y el suelo tanto del fuego como del ganado.

Todas estas herramientas son de gran utilidad para generar y conservar los llamados *paisajes en mosaico*, los cuales crean discontinuidad espacial del combustible vegetal y, por tanto, reducen el riesgo de incendios de gran extensión.

14.

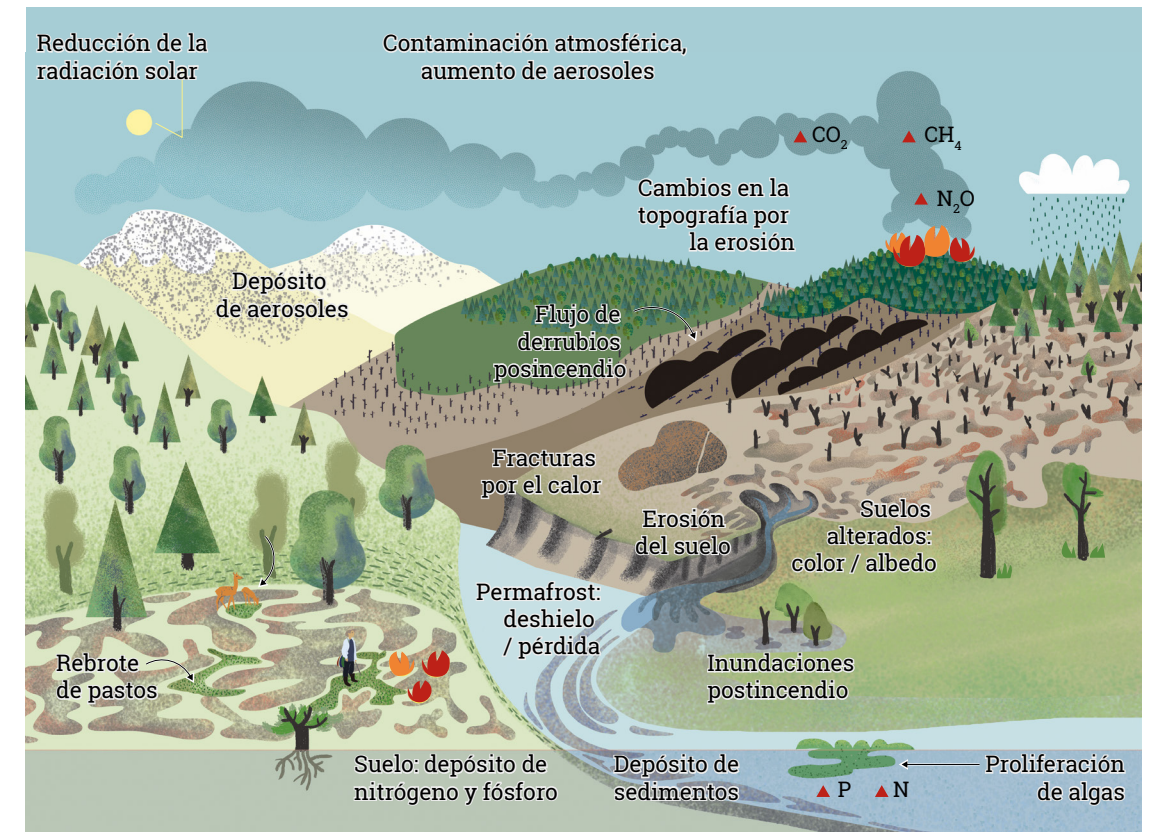
Impactos medioambientales de los incendios

Los incendios forestales afectan directamente a una gran parte de los biomas terrestres del planeta, desde los bosques boreales a las sabanas tropicales, pasando por los ecosistemas mediterráneos; e indirectamente también a los ecosistemas acuáticos, tanto de agua dulce como salada, y a la atmósfera. Los incendios producen efectos en el medioambiente tanto a escala local, alterando, por ejemplo, la composición de la vegetación o la fertilidad del suelo; como global, por ejemplo, influyendo en los ciclos biogeoquímicos o la composición de la atmósfera.

Muchos ecosistemas están adaptados al fuego, que es una perturbación natural en los mismos (por ejemplo, en el ecosistema mediterráneo); sin embargo, es importante destacar que esta adaptación es siempre específica de un tipo o régimen de incendios. Cuando alteramos ese régimen de incendios sostenible es cuando se pueden generar efectos negativos. Donde los fuegos son ahora más habituales, extensos o intensos debido a cambios en los usos del terreno y en el clima, los impactos negativos pueden ser duraderos o incluso permanentes, especialmente si se combinan con otras presiones ambientales, como sequías prolongadas o introducción de especies invasoras. Es lo que está empezando a ocurrir en ecosistemas mediterráneos de media y alta montaña con adaptaciones a fuegos de media-baja intensidad: están siendo amenazados por incendios de alta intensidad. Lo mismo sucede en zonas bajas, adaptadas a incendios intensos (de copa) pero poco frecuentes, y que actualmente son más habituales. Este incremento en la frecuencia e intensidad de los incendios podría también afectar a medio plazo al centro y norte de Europa, donde la flora tiene pocas adaptaciones al fuego.

Quando se analizan los incendios forestales, es crítico determinar si el régimen de incendios encaja en el rango histórico y ecológicamente sostenible. Además, también es importante considerar que, mientras todos los incendios representan una alteración y pueden tener impactos negativos a corto plazo, el fuego –como ya se ha dicho antes– es también un proceso de mantenimiento y rejuvenecimiento esencial en muchos ecosistemas.

Gráfico 1.8 Efectos ambientales de un incendio



SIC

- **Impactos en la vegetación:** Los incendios forestales consumen, parcial o totalmente, la biomasa vegetal aérea. Muchas especies tienen estrategias para persistir en zonas con fuegos recurrentes. Por ejemplo, las plantas rebrotadoras no mueren con el incendio, solo su parte aérea, y esta se regenera más adelante. Otras especies pueden morir, pero las semillas germinan después del incendio y la población se recupera rápidamente (las germinadoras posincendio). Los impactos más negativos en la vegetación se dan en aquellos ecosistemas que no están adaptados al fuego, como en las partes altas de



De izquierda a derecha, dron grabando una quema prescrita, hormigas recolectando semillas al día siguiente de la quema, brotes vegetales y regeneración del suelo tras un incendio. /JM VIDAL-CORDERO Y CIDE

las montañas, en las selvas tropicales o en la tundra ártica; pero incluso en los adaptados al fuego, un cambio de régimen puede poner en peligro su recuperación y estabilidad. También hay que tener en cuenta que el fuego a menudo favorece la biodiversidad, por lo que una eliminación o reducción excesiva del mismo también puede conducir a la pérdida de especies y al desequilibrio de los ecosistemas.

- **Impactos en la fauna silvestre:** Los incendios pueden tener un importante impacto negativo en la fauna, bien de forma directa por muerte o heridas causadas por el fuego, o bien por la degradación de sus hábitats y sus recursos alimenticios. También hay especies que se esconden o escapan y vuelven tras el fuego. Sin embargo, muchos animales (tanto vertebrados como invertebrados) se benefician de los mosaicos de vegetación y diversidad de hábitats que a medio o largo plazo producen los incendios en el paisaje.
- **Impactos en los suelos:** Los incendios pueden tener un importante impacto directo en las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos tanto por la transferencia de calor como por la combustión de materia orgánica. Esto puede ocasionar la eliminación de biota (microorganismos, artrópodos, raíces) en horizontes superficiales, así como alteraciones de las características físicas y químicas de los suelos. Dependiendo de las características del fuego y del ecosistema, estos cambios pueden ser temporales y permitir una recuperación rápida, o bien pueden producir alteraciones importantes y casi permanentes. La erosión es también algo común en laderas quemadas, sobre todo con lluvias intensas y suelos poco consolidados. Esta pérdida de suelo puede suponer tan-

to una merma de fertilidad (la capa del suelo que se erosiona, que es la más superficial, también es la más fértil) como impactos *ex situ* (por ejemplo, coladas de barro o cambios químicos de aguas continentales y marinas). En zonas con suelos pedregosos o bien consolidados, la erosión es mínima.

- **Impactos en los recursos hídricos:** La destrucción de la vegetación reduce la capacidad del sistema para interceptar y retener la lluvia; esto es, conduce a una mayor pérdida de agua por escorrentía superficial y puede conllevar una reducción de la recarga de aguas subterráneas. Bien es cierto que, al eliminarse la vegetación, disminuye el consumo de agua y puede aumentar la cantidad acumulada en los acuíferos. Pero cuando hay escorrentía superficial, se moviliza el suelo erosionado (sedimento) y las cenizas, y si estos llegan a la red hídrica, pueden impactar en la calidad del agua y en la salud de los ecosistemas acuáticos.
- **Impactos en el clima:** Los incendios contribuyen al cambio climático liberando a la atmósfera gases de efecto invernadero, entre otros, dióxido de carbono, metano y óxidos de nitrógeno. Cada año, a nivel global, los incendios emiten aproximadamente unos 8000 millones de toneladas de dióxido de carbono a la atmósfera, lo que equivale al 20-25 % de las emisiones generadas por la quema de combustibles fósiles. Sin embargo, después del incendio, la recuperación de la vegetación reabsorbe ese dióxido de carbono liberado, y a medio-largo plazo el balance se considera neutro siempre que la vegetación se regenere totalmente. Los cambios actuales en el clima y los regímenes de incendios pueden dificultar esa recuperación total de la vegetación.

Impactos socioeconómicos de los incendios

- **Impactos en la salud:** Las personas directamente afectadas por incendios forestales pueden sufrir una gran variedad de daños, siendo los más comunes las quemaduras y las afecciones respiratorias. Se puede incluso perder la vida debido a la inhalación de gases o a la exposición a temperaturas muy altas. De los incendios más recientes que han resultado en un número elevado de víctimas mortales se pueden destacar los de Portugal en 2017 (64 víctimas en junio y 45 en octubre), los de Attica en Grecia en 2018 (104 fallecidos) o el Camp Fire en California, también en 2018 (85 víctimas). En cuanto a España, en lo que va de siglo, las víctimas ascienden a más de 120; el año más dramático fue 2005 con 19 fallecidos. Hay que resaltar que muchas de las víctimas de los incendios no pierden la vida por acción directa del fuego, sino como consecuencia de accidentes de tráfico o aviación, especialmente del colectivo que participa en las labores de extinción. También, la inhalación de humo durante mucho tiempo (días o incluso semanas), en la medida en que puede producir complicaciones de las enfermedades respiratorias y cardiorrespiratorias, se ha relacionado con un aumento de la mortalidad. Una vez más son los efectivos de los equipos de extinción de incendios los más afectados, pero también son vulnerables las poblaciones sometidas al humo de manera prolongada.

- **Impactos en infraestructuras y otros:** Las pérdidas económicas debido a daños y destrucción de infraestructuras pueden ser muy altas, especialmente en incendios que afectan a la interfaz urbano-forestal en países desarrollados. Por ejemplo, el Camp Fire (California, EE. UU. en 2018) ha sido el incendio forestal más costoso de la historia, con pérdidas de más de 19 000 millones de dólares. Los incendios pueden también generar pérdidas económicas sustanciales en los sectores forestal, agrícola y turístico. Además, hay que considerar otros impactos económicos indirectos como los que surgen a raíz de las evacuaciones, la destrucción de negocios o la disrupción del tráfico terrestre y aéreo, así como, por supuesto, los gastos derivados de las tareas de extinción. Las temporadas de incendios más catastróficas pueden generar, en conjunto, consecuencias macroeconómicas importantes, llegando a reducir el producto interior bruto (PIB) de un país.
- **Impactos en servicios ecosistémicos:** Muchos de los efectos negativos de los incendios en los ecosistemas repercuten también en la sociedad mediante la pérdida de servicios y recursos. Entre los más afectados, con pérdidas económicas directas, están los servicios ecosistémicos de aprovisionamiento, como son los productos forestales madereros y no madereros (corcho, resina, setas) o la calidad del agua. También hay otros daños más difíciles de cuantificar pero no por ello menos importantes, como son los causados a los servicios ecosistémicos de regulación o soporte (aire limpio, suelo) o a los culturales (recreación, valor espiritual o religioso).

1.6.

Convivir con el fuego

EN el contexto actual de cambio global es fundamental generar **comunidades socioecológicas resilientes a los incendios**. Para esto, la ciencia y la técnica deben contribuir con propuestas que permitan a estas comunidades adaptarse a los regímenes de incendios presentes y futuros, así como reducir y mitigar sus impactos negativos. En el ámbito científico-técnico, hay consenso en que la solución más viable es **aprender a convivir** tanto **con los incendios**, una perturbación ecológica esencial e ineludible, como con el **uso del fuego**, herramienta cultural muy valiosa en los ámbitos agrícola, ganadero y forestal.

Aunque la tecnología pueda ayudar a mejorar los mecanismos de predicción y extinción de incendios, las soluciones pasan inexorablemente por la gestión del paisaje, escenario en el que tendrán lugar los fuegos del futuro. Para reducir el riesgo, se necesita una planificación encaminada al aumento de la superficie agroforestal y la reducción de la biomasa disponible y de su continuidad en el paisaje. Pero también es fundamental la existencia de entornos naturales, y renaturalizados, no intervenidos y, por tanto, con acumulaciones relativamente importantes de biomasa, aunque esto suponga tener que convivir, en algunas partes del territorio, con un mayor riesgo de incendio. En el ámbito de la población residente en áreas rurales y en zonas de interfaz urbano-forestal, la toma de conciencia de la necesidad de convivir con el fuego es crítica para garantizar el éxito de las medidas de autoprotección y la seguridad de sus habitantes.



Regeneración de la flora tras un incendio. / CIDe

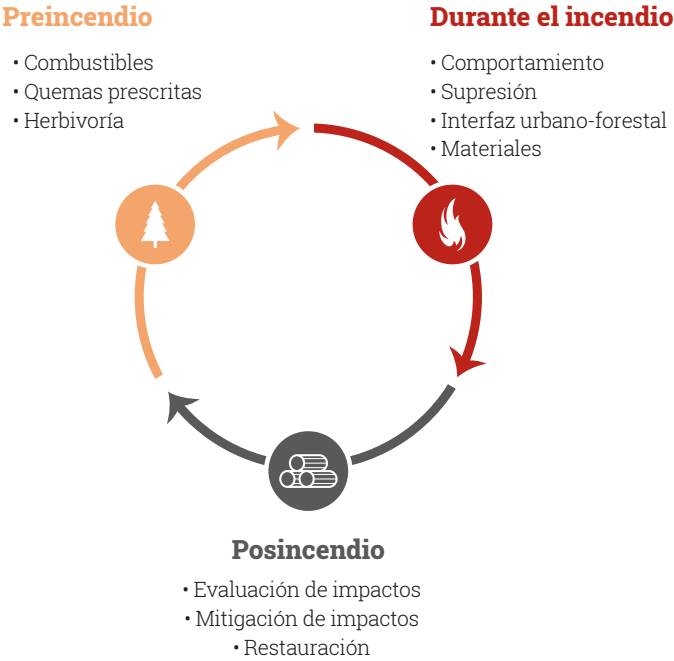
dos

|||||

Cómo mejorar la gestión de los incendios forestales, según la ciencia

LA hora de gestionar los incendios, así como los paisajes en que se producen y a las comunidades humanas a las que afectan, se debe partir siempre de un hecho fundamental: **la supresión total del fuego es imposible e insostenible**. El desafío para gestionarlos pasa, por tanto, por aprender a convivir con ellos de una forma sostenible. Cada ecosistema requiere un tipo de convivencia específica, que debe tener también en cuenta el marco socioeconómico de ese territorio. En España, tanto en la zona mediterránea como en la atlántica, muchas áreas naturales están cerca de núcleos urbanos o rurales, lo que aumenta el riesgo de igniciones de origen humano.

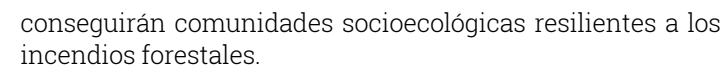
Gráfico 2.1 Gestión integral de incendios



Además, el modelo socioeconómico actual favorece un urbanismo de grandes extensiones, insertado en el medio natural (en la denominada interfaz urbano-forestal), lo que obliga a simultanear la conservación de los ecosistemas con la protección de las estructuras urbanas. Esto dificulta la gestión, ya que a veces

Es imperativo que la gestión de incendios sea una **gestión integral** e integradora que considere todos los aspectos que impactan en los incendios o que son afectados por ellos:

- **Cambio global:** Tanto los cambios de usos del suelo como el calentamiento climático están llevando a algunos paisajes a ser más propensos o menos resilientes a los fuegos. Estos cambios, y sus posibles consecuencias, tienen que ser tenidos en cuenta a la hora de planificar la gestión de incendios, sobre todo a medio-largo plazo.
- **Sociedad:** Una sociedad informada y proactiva es esencial tanto para la reducción del número de grandes incendios como para la minimización de sus impactos. Las comunidades humanas que conviven con paisajes inflamables deben ser conscientes de su responsabilidad. Esto incluye limitar conductas peligrosas (por ejemplo, prácticas que puedan llevar a igniciones no deseadas), aumentar la seguridad de sus propiedades (por ejemplo, reduciendo combustibles en los alrededores de las viviendas) y conocer cómo actuar en cada caso (por ejemplo, cuándo evacuar o cuándo confinarse). Para conseguir esto es fundamental no solo la educación y la concienciación de la ciudadanía, sino que esta se involucre de una forma proactiva como agente del cambio. Además, una sociedad preparada será también un motor fundamental en las transformaciones de las políticas necesarias para una correcta gestión.
- **Gobernanza:** Las políticas de gestión de incendios deben basarse en el conocimiento tanto de los aspectos físicos y ambientales como de las sociedades humanas que habitan los paisajes inflamables. Además, deben incentivar las políticas integrales y con marcos temporales largos, ya que solo así se



- **Conocimiento y gestión:** La gestión de los incendios forestales y el conocimiento en el que se basa la misma tienen tres medidas o líneas de actuación: las previas al incendio, las que se toman durante el mismo y las posteriores al fuego. Estos tres ámbitos, sin embargo, no pueden desarrollarse exclusivamente o de forma aislada, sino que tienen que tenerse en cuenta en conjunto para una correcta gestión integral. Además, desde este mismo punto de vista y dado que hemos de convivir con los incendios, es también indispensable que la gestión genere regímenes de incendios sostenibles (ecológica y socialmente), dependiendo de los contextos ambientales y socioeconómicos. El CSIC dispone de equipos de investigación que estudian el fenómeno de los incendios forestales y recaban conocimiento para informar y mejorar su gestión.

Investigadoras del CSIC analizando la recuperación del suelo después de un incendio. / CIDE

2.1.

Gestión de los regímenes de incendios

Los incendios forman parte de la dinámica de muchos ecosistemas. El rango de frecuencia, tamaño, intensidad y estacionalidad con que se producen se denomina *régimen de incendios*. Si los incendios se producen fuera de ese rango, ya sea por exceso o por defecto, sus impactos negativos se incrementan, pudiendo incluso resultar nocivos e insostenibles. De esta forma, los fuegos *per se* no son el problema, pero los cambios bruscos en el régimen de incendios sí lo pueden ser. Para poder gestionar correctamente los paisajes inflamables, necesitamos primero conocer cuáles son los regímenes de incendios a los que están adaptados, así como las posibles consecuencias de desviarlos de los mismos. Además, existen una serie de herramientas que nos pueden ayudar a generar regímenes de incendios sostenibles en determinados paisajes, entre las que se incluyen las quemas prescritas, el pastoreo prescrito, los desbroces, dejar quemar incendios pequeños y poco intensos, favorecer a los herbívoros silvestres o estimular la actividad rural. Cada una de estas herramientas tiene sus ventajas y sus inconvenientes, y puede ser útil en diferentes condiciones ambientales y contextos socioeconómicos.

Para entender los regímenes de incendios de los ecosistemas es fundamental tener una perspectiva amplia, tanto espacial como temporal. En el Instituto Pirenaico de Ecología (IPE), estudian los incendios de tiempos remotos para comprender los actuales y para medir cómo el cambio de frecuencia e intensidad afecta a la actividad humana. Este análisis permite obtener referencias del régimen de incendios más allá del periodo contemporáneo y evaluar así hasta qué punto sus modificaciones pueden afectar de manera irreversible a los ecosistemas y paisajes donde ocurren.

En el Centro de Investigaciones sobre Desertificación (CIDE) se estudia el fuego desde un punto de vista ecológico y evolutivo con el fin de entender los rasgos adaptativos que tienen las plantas y animales para vivir y reproducirse en ambientes propensos a los incendios. Esta ecología del fuego proporciona la ciencia básica para poder entender los regímenes de incendios sostenibles en los diferentes ecosistemas, y es el primer



Túnel de viento del ICIFOR-INIA para ensayos a escala de planta que imitan la realidad. /CÉSAR HERNÁNDEZ

paso para una gestión sostenible. Además, sus investigadores también analizan cómo los cambios en el uso del suelo y en el clima modifican esos regímenes de incendios, y cuáles son las consecuencias ecológicas de estos nuevos regímenes.



La supresión total del fuego es imposible; gestionarlo adecuadamente pasa por convivir con él de una forma sostenible, desarrollando un tipo de convivencia específica en cada ecosistema



2.4.

Gestión posincendio

CONOCER, evaluar y predecir los **impactos del fuego** en las comunidades y sistemas socioecológicos es clave para la gestión posincendio. Esta información permite tanto minimizar sus efectos negativos como ayudar a una recuperación eficiente de los ecosistemas y los servicios que ellos nos proporcionan. Dentro de la recuperación posincendio, existen diversas técnicas de restauración que se pueden aplicar cuando los ecosistemas no son capaces de recuperarse por sí solos, o cuando esa recuperación es demasiado lenta o costosa en términos ambientales o sociales. Estas técnicas van desde la aplicación de materiales y estructuras para retener el suelo y evitar la erosión, la siembra de plantas herbáceas para proteger el suelo, la plantación de especies con elevada resistencia y resiliencia a los incendios hasta el uso de fauna para estimular la dispersión de semillas a zonas incendiadas. El objetivo último de la restauración debe ser el de generar paisajes ecológica y socialmente sostenibles, dentro del marco de la **restauración ecológica**.

Los equipos del CSIC aportan conocimiento para mejorar la gestión posterior a los incendios a partir del estudio del impacto del fuego en la vegetación, la fauna, los suelos, las aguas y el ciclo del carbono, así como de la recuperación de los mismos tanto de forma natural como por medio de actuaciones de restauración.

○ **Vegetación y fauna.** Un equipo del ICIFOR-INIA ha desarrollado metodologías para predecir el efecto del fuego en los troncos de los árboles. Los ensayos en laboratorio han confirmado el carácter protector de la corteza de especies forestales frente al daño térmico. También se ha desarrollado un dispositivo, en colaboración con la Universidad Politécnica de Madrid, para evaluar en campo la supervivencia de tejidos vivos bajo la corteza de los árboles. Además, equipos del ICIFOR-INIA han estudiado la regeneración natural posincendio en pinares de *Pinus pinaster*.

La evaluación de la recuperación posincendio es el objetivo de un equipo de la EBD que desarrolla protocolos para el seguimiento de la recuperación de fauna y vegetación tras el fuego.



En el CIDE estudian el efecto del fuego tanto en las plantas como en la fauna y en las interacciones biológicas. En cuanto a las plantas, se estudian las estrategias y mecanismos de regeneración posfuego. Respecto a los animales, se analizan especialmente comportamientos adaptativos al fuego en vertebrados, y abundancia y diversidad en invertebrados. Y con relación a las interacciones, se estudian varias de ellas, tales como la polinización, el parasitismo, la dispersión de semillas, y la depredación. Todo ello se investiga desde una perspectiva tanto ecológica como evolutiva.

Además, se evalúa cómo algunas de las interacciones (por ejemplo, dispersión de semillas por fauna) se pueden utilizar para realizar una restauración ecológica posincendio. Desde el CIDE se ha demostrado que, en ecosistemas propensos al fuego, los incendios afectan a la mayoría de los organismos y modulan la dinámica de las interacciones bióticas y la biodiversidad local. El mismo equipo también trabaja en estudiar el efecto de los incendios en la biodiversidad de plantas en diferentes niveles de organización: dentro de plantas, entre individuos, entre poblaciones, dentro de comunidades y a escala macroevolutiva.

Equipos del IPE y el ICIFOR-INIA han evaluado el efecto de la severidad del fuego en la gestión selvícola de las masas forestales. Para ello se ha estudiado el efecto de la severidad de los incendios y han constatado que el uso de las quemaduras prescritas podría mitigar los efectos de los grandes incendios, ya que el uso del fuego con severidad baja no compromete a estas masas muy vulnerables a incendios de alta severidad y podría mejorar la resiliencia futura a los incendios.

Seguimiento de la recuperación de la flora tras un incendio. / CIDE

La red temática de incendios forestales FuegoRED



La Red Temática Nacional FuegoRED tiene como objetivo revisar el conocimiento científico desarrollado hasta la actualidad, y consensuar la evolución de la investigación científica en torno a los efectos de los incendios forestales sobre los suelos. Para ello, la red organiza congresos científicos bianuales con carácter internacional. FuegoRED está compuesta por más de 300 investigadores de más de 30 universidades y centros de investigación de toda España, así como de Australia, Estados Unidos, Portugal, Lituania, Reino Unido y otros. Además, cuenta con la participación de gestores y técnicos forestales de diferentes instituciones.

- **Suelos.** El restablecimiento funcional de los suelos tras los incendios es una parte fundamental de la recuperación del ecosistema. También es muy importante minimizar la pérdida de suelo por erosión posincendio, ya que el suelo es un recurso no renovable que tarda cientos, o incluso miles de años, en formarse. Además, ese suelo erosionado puede causar daños aguas abajo, en forma de contaminación de aguas o de flujo de derrubios, entre otros.

En el CSIC, varios equipos estudian el impacto del fuego en los suelos y su recuperación. En el Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología de Sevilla (IRNAS), estudian los impactos de los incendios en la materia orgánica de los suelos, identificando marcadores biogeoquímicos en los suelos que ayudan a evaluar y monitorizar su recuperación.

En el INIA se estudia el impacto de los incendios de alta intensidad en las comunidades de hongos del suelo y sus consecuencias para la regeneración de la vegetación. Además, en el ICIFOR-INIA se están evaluando, en

colaboración con otros equipos de investigación, la eficacia de diferentes tratamientos de emergencia a corto plazo para reducir la erosión. También desde el IMIB se está estudiando la erosión posincendio de los suelos desde el punto de vista de un potencial sumidero de carbono a largo plazo, ya que el carbono movilizado desde las zonas quemadas puede quedar *secuestrado* en otras partes del paisaje durante cientos, e incluso miles, de años.

- **Aguas.** Los incendios tienen un impacto ambiental clave en el régimen hídrico de los ecosistemas. El fuego consume la vegetación viva y muerta, y de este modo reduce la cantidad de lluvia que es retenida y evaporada por la misma. Eso conduce a una mayor escorrentía superficial y, a veces, a una reducción de la recarga de aguas subterráneas. Además, el agua que se mueve en el paisaje después del incendio arrastra parte del suelo erosionado y, también, cenizas. Esto se puede traducir en impactos importantes tanto para los ecosistemas acuáticos como para la calidad del agua potable y de regadío. Un grupo del Instituto Geológico y Minero de España (IGME) estudia el impacto de los incendios forestales en las aguas subterráneas. En el IMIB se estudia el efecto de las cenizas generadas en diferentes tipos de incendios en la calidad de las aguas y los ecosistemas acuáticos.
- **Ciclo del carbono.** El Centro de Ciencias Humanas y Sociales (CCHS) colabora con la Universidad de Barcelona en el estudio del impacto de los incendios forestales en la fijación del carbono. Además, desde el IMIB y el Instituto de Ciencia y Tecnología del Carbono (INCAR) se están desarrollando nuevos métodos para estimar emisiones de carbono de incendios. Desde el Instituto de Diagnóstico Ambiental y Estudios del Agua (IDAEA), estudian los riesgos para la salud humana de la exposición a las emisiones de los incendios en un clima cambiante. En el INIA, un grupo investiga el riesgo de emisiones de gases de efecto invernadero en los incendios forestales. En el IRNAS se cuantifica y caracteriza, por técnicas de caracterización molecular de última generación, el carbono pirogénico producido en los incendios, el cual puede funcionar como un importante sumidero de carbono a largo plazo.

2.5.

Gestión integrada del fuego

CADA vez está más claro que para una gestión óptima de los incendios forestales todos los elementos señalados en las secciones previas, y muchos otros, se tienen que evaluar y considerar en conjunto, en el marco de una gestión integrada. Actualmente hay ya líneas de investigación en este respecto dentro del CSIC, que está contribuyendo a elaborar una estrategia integral para la gestión de incendios forestales en Europa. En este proyecto, el CIDE estudia el efecto del fuego y las quemadas prescritas en la diversidad animal y vegetal, y contribuye a la elaboración de mapas de vulnerabilidad a los incendios a escala europea.

El equipo ICIFOR-INIA, en colaboración con Infoca-Amaya, ha realizado por primera vez una cartografía dinámica de combustibles que contribuye a la mejora de los índices de peligro y también a la gestión del fuego prescrito a escala regional y provincial. Para ello, y en colaboración con la Universidad de Córdoba, se ha trabajado también en la definición de los modelos forestales de quema prescrita, que permitirán una gestión más eficaz de las ventanas de prescripción para poder ejecutar fuegos prescritos con diferentes objetivos de forma segura y eficaz.



Los equipos del CSIC generan conocimiento para una gestión integral en prevención, tratamiento y regeneración de los incendios forestales

tres

Conclusiones y recomendaciones

Conclusiones

La ciencia desarrollada en el CSIC, en colaboración con otros centros de investigación y universidades, está proporcionando las bases para **mejorar la resiliencia de los ecosistemas y la sociedad a los incendios** en el actual contexto de cambio global.

Los incendios forestales son un elemento clave para el equilibrio de los ecosistemas. Cada ecosistema está adaptado a un régimen propio de incendios. Los seres humanos están alterando estos regímenes. Tanto el exceso como la ausencia de fuego ocasiona consecuencias adversas.

La combinación de cambio climático, aumento de la cantidad de combustible vegetal e igniciones humanas provoca cambios en el régimen de incendios, de tal manera que **los grandes incendios son cada vez más frecuentes y virulentos**. Esto conlleva problemas tanto desde el punto de vista humano como ambiental.

La supresión total del fuego es imposible e insostenible. Un periodo largo de supresión puede llevar a futuros incendios más intensos y severos. Es necesario aprender a convivir tanto con los incendios como con el uso del fuego en ámbitos rurales para generar comunidades socioecológicas más resilientes.

Es necesaria una gestión integral del paisaje que genere regímenes de incendios sostenibles. Esta gestión debe considerar todos los aspectos que impactan o que son afectados por el fuego, incluyendo **medidas antes, durante y posteriores al incendio**. En función de los diferentes contextos socioecológicos, existen distintas herramientas para conseguir este objetivo, como quemas prescritas, herbivoría silvestre o la potenciación de actividades rurales.

La gestión del fuego requiere una evaluación rigurosa y a largo plazo de los costes y beneficios, tanto medioambientales como socioeconómicos. También debe tener en cuenta la dificultad para, en ocasiones, conciliar los intereses que generan los ámbitos ecológicos y sociales.

El abordaje de los incendios debe basarse en el conocimiento. Ello incluye tanto el conocimiento científico-técnico sobre aspectos físicos y ambientales, como también el de las personas que habitan paisajes inflamables.

Recomendaciones



Efectivos del Servicio de Extinción de Incendios Forestales de Andalucía. / INFOCA

|||||

La restauración y mitigación posincendio, aun siendo un campo apoyado por numerosos estudios científicos, **requiere mayor transferencia** para su integración en la gestión.

|||||

Entre las líneas de investigación orientadas a conseguir los objetivos de desarrollo sostenible es recomendable priorizar **la cuantificación y caracterización de emisiones durante los incendios y las quemaduras prescritas, y el balance de carbono**, tanto a corto como a medio-largo plazo.

|||||

Una gestión del fuego integral y óptima requiere formar parte de las políticas forestales y agrarias. Este objetivo pasa por la inversión en el ámbito rural para movilizar recursos forestales estratégicos de manera ambiental y socialmente sostenible.

|||||

La gestión de la vegetación (el combustible de superficie) es uno de los grandes retos para reducir el riesgo de grandes incendios. Para su abordaje, es necesario aumentar la superficie anual tratada con quemaduras prescritas, ganadería extensiva, herbivoría silvestre y/o tratamientos mecánicos en lugares estratégicos de los paisajes; todo ello sin olvidar la necesidad de no intervención en algunos paisajes y de renaturalizar otros.

|||||

Controlar las fuentes de ignición es un gran desafío. A pesar de su compleja solución, es recomendable promover la educación y concienciación entre la población rural, fomentar las quemaduras prescritas y reducir un incendiarismo asociado a usos rurales tradicionales.

|||||

La colaboración entre administraciones es fundamental para la gestión integral del fuego. La participación y colaboración entre instituciones permite mejorar la gestión de los regímenes de incendios, del uso del fuego, de su extinción y de la restauración posincendio.

|||||

La implicación de las entidades locales es clave en el interfaz urbano-forestal. Su papel es fundamental en la aplicación de los planes de autoprotección, en el manejo de la emergencia durante la extinción o en la concienciación del peligro de incendios para evitar accidentes.

|||||

Los incendios forestales son un problema transfronterizo. Por ello se deben fomentar estrategias comunes y cooperativas basadas en criterios científico-técnicos, sin olvidar implicar en la gestión a las comunidades rurales.

|||||

Es necesario situar la prevención y mitigación en el centro de la gestión de los incendios, priorizando las actuaciones dirigidas a aumentar la resiliencia socioecológica.

cuatro

Listado de centros

INCENDIOS FORESTALES

| CENTRO | PÁGINA WEB | CORREO ELECTRÓNICO |
|---|-----------------------|-----------------------------|
| Centro de Ciencias Humanas y Sociales [CCHS, CSIC] | www.cchs.csic.es | direccion.cchs@csic.es |
| Centro de Investigaciones sobre Desertificación [CIDE, CSIC-UV- Generalitat Valenciana] | www.uv.es/cide | direccion.cide@csic.es |
| Estación Biológica de Doñana [EBD, CSIC] | www.ebd.csic.es | direccion.ebd@csic.es |
| Instituto de Diagnóstico Ambiental y Estudios del Agua [DAEA, CSIC] | www.idaea.csic.es | direccion.idaea@csic.es |
| Instituto Geológico y Minero de España [IGME, CSIC] | www.igme.es | igme@igme.es |
| Instituto Mixto de Investigación en Biodiversidad [MIB, UNIOVI- Principado de Asturias-CSIC] | www.unioviedo.es/IMIB | administracion.imib@csic.es |
| Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria [INIA, CSIC] | www.inia.es | direccion.general@inia.es |
| Instituto Pirenaico de Ecología [IPE, CSIC] | www.ipe.csic.es | direccion.ipe@csic.es |
| Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología de Sevilla [IRNAS, CSIC] | www.irnas.csic.es | direccion.irnas@csic.es |
| Misión Biológica de Galicia [MBG, CSIC] | www.mbg.csic.es | direccion.mbg@csic.es |
| Centro de Investigación Ecológica y Aplicaciones Forestales [CREAF, CSIC-IRTA-UAB-UB-IEC-Generalitat de Catalunya] | www.creaf.cat | direccion.creaf@csic.es |



Ciencia para las Políticas Públicas



Informe de transferencia
de conocimiento



CSIC

CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE CIENCIA
E INNOVACIÓN

SCIENCE  POLICY