

A photograph of a forest fire at night. Several firefighters in full protective gear are visible, working to contain the flames. The fire is intense, with bright orange and yellow flames rising from the forest floor. Tall, dark tree trunks are silhouetted against the fire and the dark night sky. The overall scene is dramatic and urgent.

Ciencia para  
las Políticas  
Públicas

# Incendios forestales

Coordinado por:

Cristina Santín · Javier Madrigal · Xim Cerdà · Juli Pausas

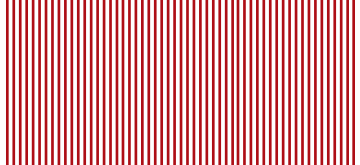


**CSIC**

CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS

SCIENCE  POLICY





# 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 **4** POLICY

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](mailto:publ@csic.es))



**Departamento  
de Comunicación**

Gabinete de Presidencia  
Consejo Superior de  
Investigaciones Científicas  
Calle Serrano 117  
28006 Madrid  
Email: [comunicacion@csic.es](mailto: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:**

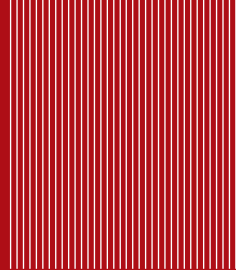
David Pamplona Roche

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.



**E**L 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 desgranar 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



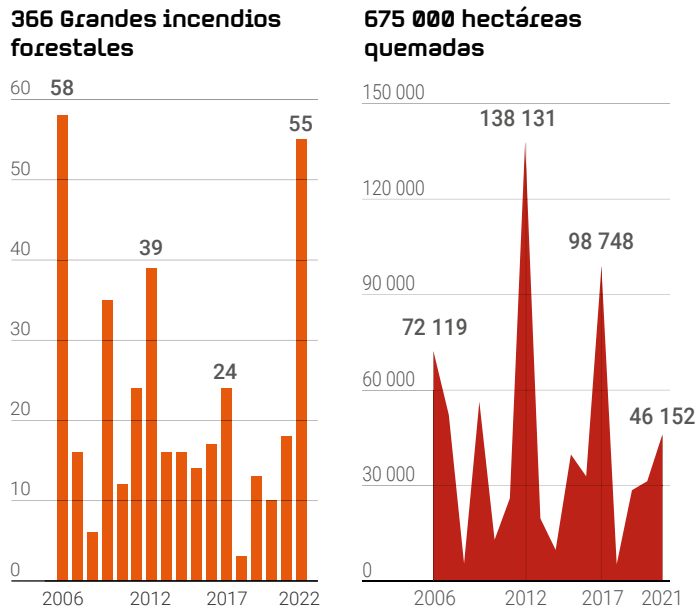
# ¿Qué son los incendios forestales?



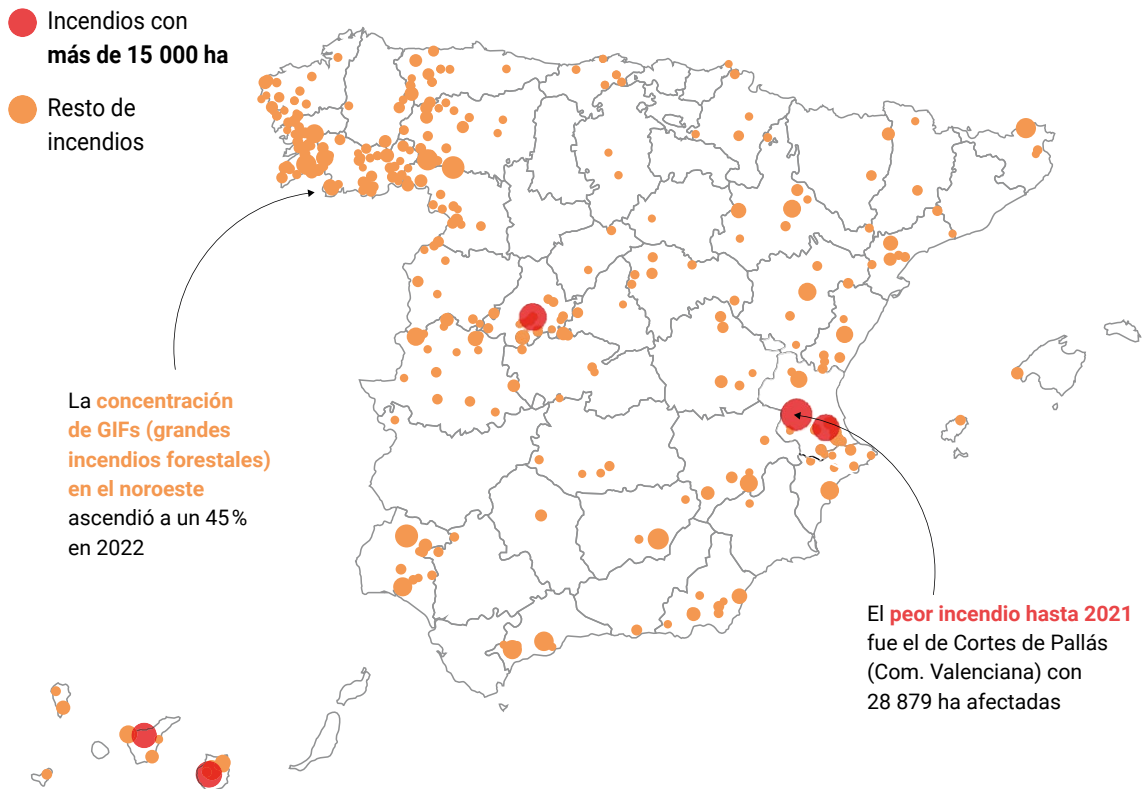
Los incendios forestales son **fuegos no planificados e incontrolados en entornos silvestres**, que se propagan por la vegetación, ya sea bosque, matorrales, pastizales, cultivos u otros tipos. Se diferencian así de los incendios estructurales, como los que suceden en edificaciones, o las quemaduras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

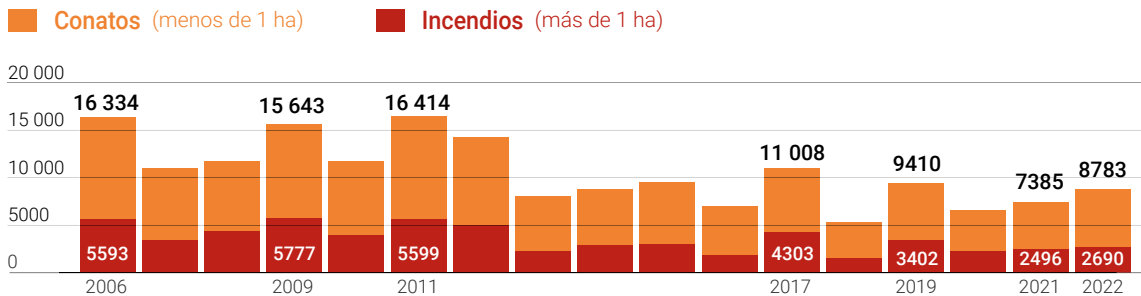
**Gráfico 1.1** Grandes incendios forestales y superficie quemada



**Gráfico 1.2** Grandes incendios en España desde 1968 hasta 2021

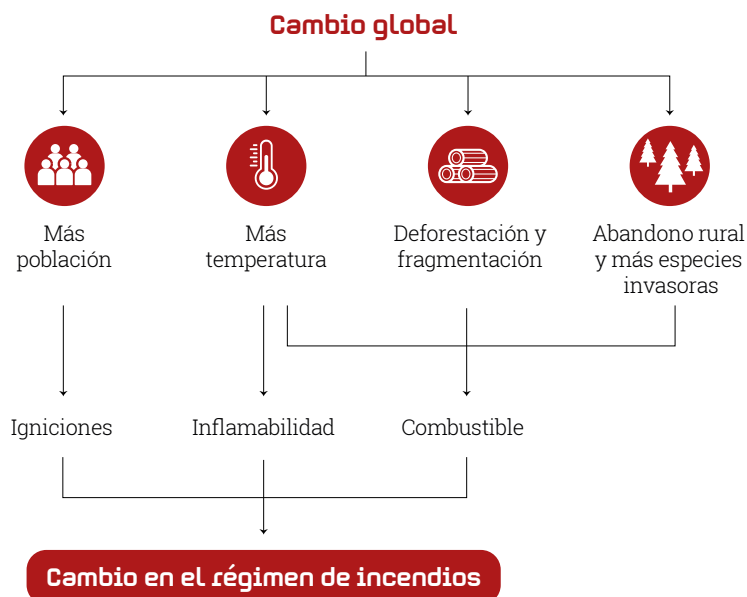


**Gráfico 1.3** Número de incendios en España



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.

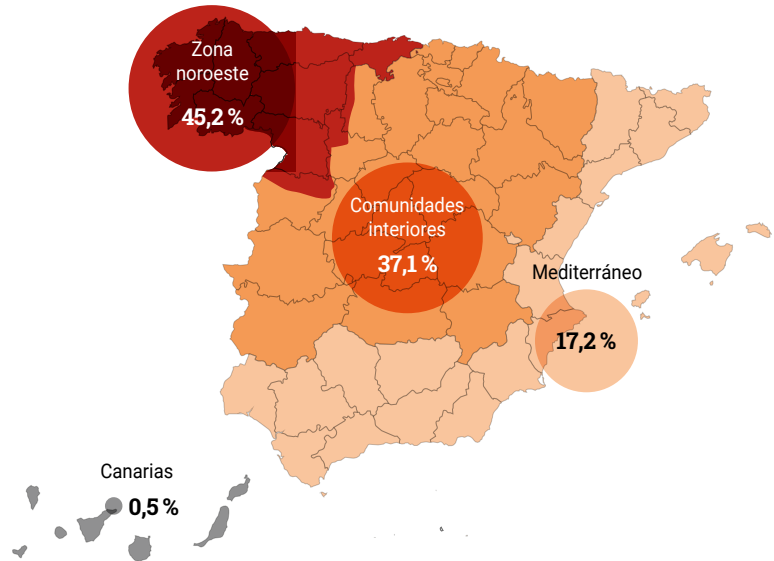
Es importante entender que, a pesar de las consecuencias antes referidas, el fuego es un agente natural y necesario en muchos ecosistemas. El fuego contribuye al rejuvenecimiento de la vegetación, al reciclado de nutrientes e incluso, en escalas temporales más amplias, a la evolución de las especies.





### 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.





# 12.

## Ingredientes para los incendios

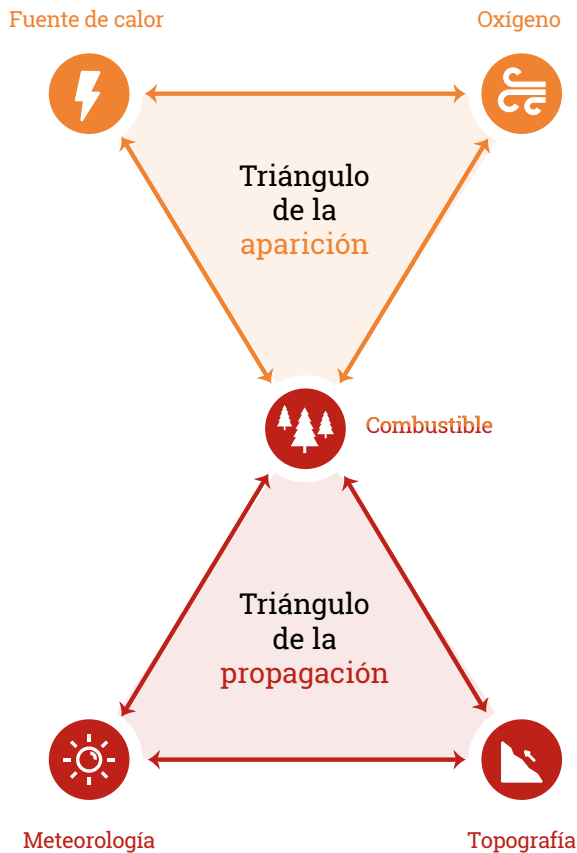
Los componentes esenciales para la aparición del fuego son el combustible, el calor y el oxígeno. A estos tres ingredientes juntos a menudo se les llama el *triángulo del fuego*. En cuanto al paisaje, para que el fuego se propague y genere un incendio forestal, se requiere que se den los siguientes factores 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





- ### Gráfico 1.7 Estacionalidad de los GIF en España

Un 64 % de los grandes incendios son en los meses de verano

Mes	Número de incendios
Ene.	5
Feb.	10
Mar.	15
Abr.	5
May.	5
Jun.	15
Jul.	72
Ag.	120
Sep.	45
Oct.	45
Nov.	5
Dic.	5

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*.

# 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.



La cultura de autoprotección  
y emergencia, que facilite  
evacuaciones y confinamiento,  
requiere de la atención  
técnica y política





En muchas zonas de España, la despoblación de las áreas rurales y el abandono de las actividades tradicionales en las mismas está ocasionando una reducción de la gestión del paisaje que, en consecuencia y en algunos casos, supone una mayor acumulación y continuidad de combustible, y, por lo tanto, un incremento del peligro de incendios. Tampoco ha sido favorable que, a lo largo de las últimas décadas, se hayan venido aplicando indiscriminadamente políticas de extinción de incendios tanto en España como en muchos otros países. Al intentar suprimir los incendios forestales a cualquier precio, la acumulación de combustibles aumenta el riesgo de incendios más graves en el futuro (la paradoja de la extinción). A pesar de que hoy se reconoce ampliamente la necesidad de coexistir de forma sostenible con los incendios, las políticas de supresión total de incendios son la práctica habitual porque la normativa de protección civil en España no permite dejar arder los incendios incluso si son de origen natural.

Un problema importante que se está acentuando en los últimos años son los incendios en la interfaz urbano-forestal, esto es, las zonas de contacto entre áreas urbanas y forestales. El abandono rural y la falta de gestión forestal están provocando la transformación de usos agrícolas y ganaderos en terreno forestal cada vez más en contacto con las poblaciones. Por otro lado, la nueva urbanización en el entorno de zonas forestales está ocasionando no solo un incremento de igniciones, sino también un problema de protección civil cuando se declaran incendios forestales. El fomento entre la población de una cultura de la emergencia que facilite las evacuaciones o confinamientos y conciencie de tomar medidas de autoprotección debe estar en el foco de atención técnica y política, ya que, aunque la normativa obliga a realizar y ejecutar planes que mitiguen los efectos de los incendios y reduzcan el peligro de accidentes asociados, esto no siempre se lleva a cabo.



Quema prescrita en el Parque Nacional de Doñana. / JM VIDAL-CORDERO

# 14.

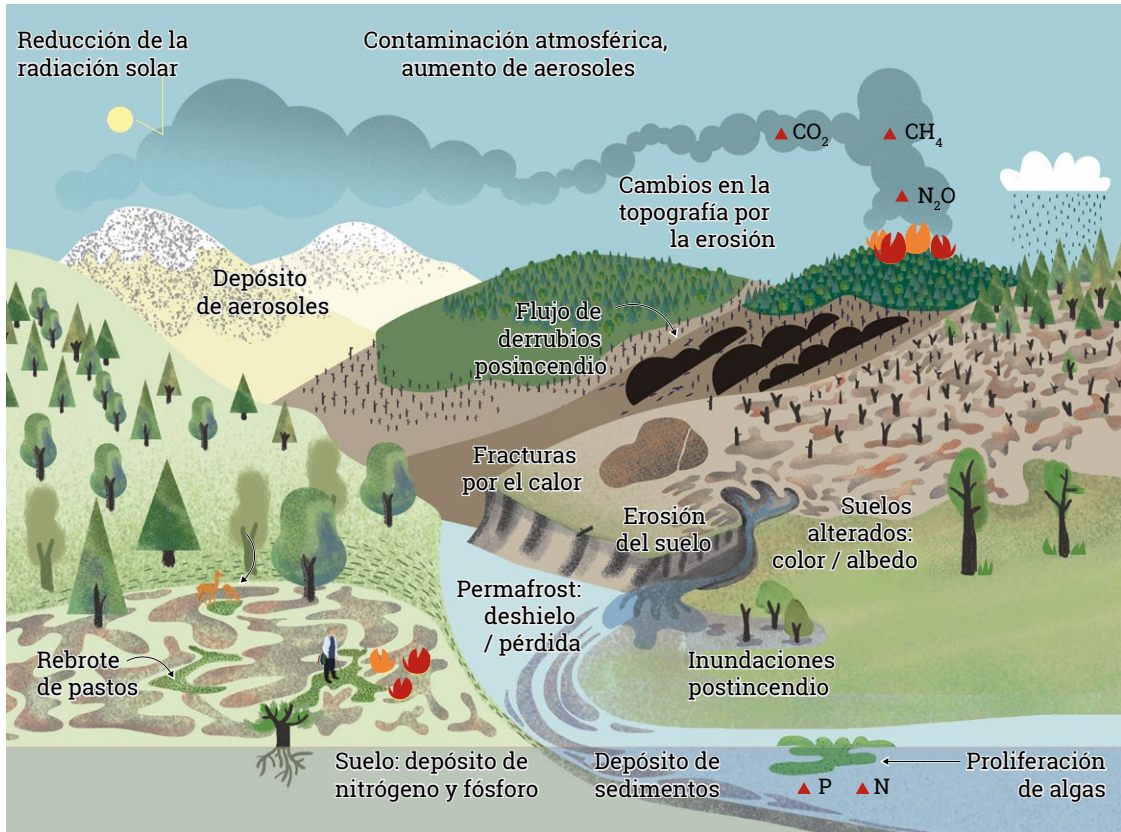
## Impactos medioambientales de los incendios

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.

Cuando 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



CSIC

- **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.

# 15.

## Impactos socioeconómicos de los incendios

**L**a mayoría de los incendios forestales que se producen en nuestro planeta no tienen impactos socioeconómicos importantes, ya que son parte de los ciclos naturales de los ecosistemas y no afectan a poblaciones humanas o a los recursos de las que estas se nutren; sin embargo, también los hay que por su ubicación o características tienen efectos negativos para las comunidades humanas y sus economías, como consecuencias en la salud, daños a infraestructuras o impactos en servicios ecosistémicos.

- **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.

Por último, no se pueden olvidar las consecuencias psicológicas, sobre todo en personas que han vivido experiencias traumáticas tales como evacuaciones y pérdida de seres queridos o propiedades.

- **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 interrupción 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).



# 16.

## Convivir con el fuego

**E**N 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**

**A** 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.

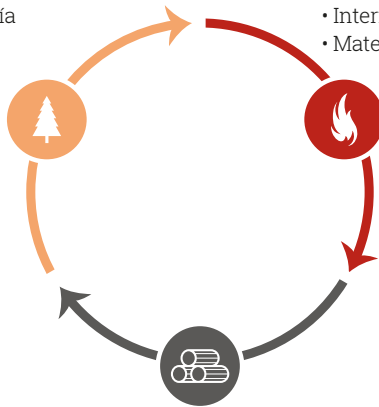
### Gráfico 2.1 Gestión integral de incendios

#### Preincendio

- Combustibles
- Quemadas prescritas
- Herbivoría

#### Durante el incendio

- Comportamiento
- Supresión
- Interfaz urbano-forestal
- Materiales



#### Posincendio

- Evaluación de impactos
- Mitigación de impactos
- Restauración

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

las soluciones para esos dos ámbitos no son compatibles. Por ejemplo, la eliminación (si es que fuera posible) de los incendios en paisajes donde históricamente han sido frecuentes podría ser positivo para las comunidades humanas que viven en ese entorno, pero podría afectar negativamente a la biodiversidad (animales y plantas).

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





conseguirán comunidades socioecológicas resilientes a los incendios forestales.

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

- **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.



# 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





# 2.2.

## Gestión preincendio

UNA de las actuaciones fundamentales en la gestión preincendio, y también seguramente la más amplia y compleja, es la relativa a los **paisajes inflamables**. Esto se hace principalmente mediante la **gestión del combustible**, ya que este es el único elemento del triángulo de fuego que se puede modificar fácilmente.

El primer paso para una gestión correcta del combustible forestal es **entenderlo y caracterizarlo**, determinando su cantidad, estructura, composición e inflamabilidad. En el Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria (INIA), el grupo de Incendios Forestales del Instituto de Ciencias Forestales (ICIFOR) caracteriza los combustibles forestales mediante ensayos en laboratorio a diferentes escalas. Estas investigaciones han puesto de manifiesto el previsible incremento de la inflamabilidad de las plantas como efecto de los cambios bióticos (enfermedades) y abióticos (estrés hídrico) derivados del cambio global.

Los equipos del ICIFOR-INIA también caracterizan el combustible forestal a escala real, utilizando imágenes estereoscópicas hemisféricas. Los resultados combinados con otros métodos de detección remota, como las imágenes de satélite o el láser (LIDAR), permiten obtener una cartografía temática de alto valor en la planificación del peligro en masas arboladas. Este trabajo se ha desarrollado gracias a la colaboración público-privada con la empresa Agresta.

**La gestión de la vegetación combustible** consiste principalmente en reducir tanto la cantidad disponible como su continuidad vertical y horizontal, para disminuir así la probabilidad de ignición y la velocidad e intensidad de propagación del fuego. Además, la fragmentación del combustible también facilita el acceso a los medios de extinción. Esta estructuración del paisaje se puede desarrollar y mantener principalmente mediante tres tipos de actuaciones en zonas estratégicas: **métodos mecánicos** (desbroces de matorral, cortas en masas arboladas), el **pastoreo** (sea prescrito con ganado o introduciendo herbívoros silvestres) y las **quemas prescritas**.



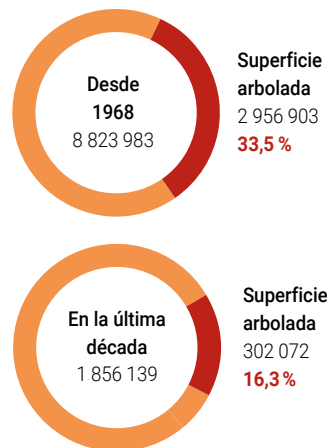
El uso del fuego en prevención de incendios mediante la realización de **quemadas prescritas** es muy útil para reducir la biomasa disponible (pastos, hojarasca, matorrales) y generar discontinuidades en el combustible, y así reducir la propagación de incendios futuros o, al menos, la severidad del fuego. También pueden tener otras funciones como la producción y mantenimiento de pastos o la restauración y la conservación de ecosistemas específicos. Son técnicas poco frecuentes en la cuenca mediterránea (unas 7000 hectáreas anuales), aunque en España los servicios forestales de las comunidades autónomas están incrementando su uso y la formación del personal para su ejecución.

Los resultados obtenidos por los equipos del ICIFOR-INIA y del CIDE demuestran que, realizadas con las prescripciones adecuadas, las **quemadas prescritas** son una herramienta efectiva y segura para la reducción del combustible y, en consecuencia, del riesgo de incendio, y no tienen efectos negativos en la biodiversidad. El ICIFOR-INIA también estudia los efectos de las quemadas prescritas en el desfronde (la caída natural de biomasa procedente de la parte aérea de los árboles, arbustos y matorrales: hojas, frutos, ramillos, corteza, etc.), el crecimiento de los árboles, la producción de resina y en las poblaciones de insectos. La información obtenida permite tener una visión amplia de los efectos del fuego como herramienta preventiva, matizando su efectividad y condiciones de uso. Asimismo, subraya la necesidad de una evaluación continua de las actuaciones para capitalizar la experiencia y ajustar las prescripciones que armonicen eficacia preventiva y compatibilidad ecológica.

En la Estación Experimental del Zaidín (EEZ), estudian el uso de las quemadas prescritas como herramienta para la prevención de incendios combinada con la ganadería extensiva mediante el denominado **pastoralismo prescrito o pírico**. Esta técnica permite recuperar el uso tradicional de la quema (para producción de pastos) y el pastoreo posterior. Los resultados muestran la eficacia preventiva de la intervención y el alto potencial del uso del pastoreo controlado para el mantenimiento de infraestructuras de defensa y zonas estratégicas de gestión. Desde el Instituto Mixto de Investigación en Biodiversidad (IMIB) también se está

## Gráfico 2.2

Superficie afectada  
En hectáreas quemadas



analizando cómo el pastoreo tradicional influye en la carga de combustible, dentro de una evaluación más amplia de los efectos de esta práctica en servicios ecosistémicos.

El objetivo último de las actuaciones previas a los incendios consiste en lograr **paisajes más resilientes y sostenibles**. Una forma de crear estos paisajes es ordenando las diferentes unidades del paisaje según su inflamabilidad. Por ejemplo, las zonas de pastos y cultivos dispuestos a barlovento de los vientos dominantes en la época seca (como cortafuegos), y las plantaciones forestales productivas a sotavento. La efectividad está supeditada al tipo de vegetación, la topografía y el régimen de vientos, así como a la disponibilidad de los propietarios públicos y privados para su puesta en práctica. El mantenimiento de estas áreas depende en gran medida de las políticas de incentivos y de la colaboración público-privada que permitan la combinación de tratamientos selvícolas con la reactivación de usos agrarios, fomentando la presencia de sistemas agroforestales.

El ICIFOR-INIA investiga para fortalecer la resiliencia ecológica, social y económica de los sistemas forestales mediterráneos frente a incendios, incluidas las áreas protegidas y los bosques de producción de España. Este equipo estudia la resiliencia a medio y largo plazo de la biomasa y los *stocks* de carbono y de la dinámica de la vegetación y de la madera muerta después de grandes incendios, en diferentes escenarios de gestión. Además, contempla aspectos sociales y económicos de la resiliencia, realizando estudios de percepción y sensibilización del público ante grandes incendios y evaluación económica para aumentar su resiliencia.

Finalmente, la gestión previa a los incendios forestales también necesita de una vertiente de **prevención social**. Los objetivos de la prevención social son aprender a convivir con los incendios, aceptando la presencia y la función del fuego, disminuyendo el uso inadecuado que pueda generar negligencias o accidentes, aumentando la concienciación sobre la autoprotección en zonas de interfaz urbano-forestal y trabajando con propietarios para que puedan quemar de forma controlada con seguridad.



Los equipos de la EBD y del ICIFOR-INIA participan en proyectos que tienen entre sus principales objetivos estos aspectos sociales. El consorcio Centro Ibérico para la Investigación y Lucha contra los Incendios Forestales (CILIFO), del que ambos centros forman parte, agrupa a miembros de España y Portugal, y aglutina a instituciones de gestión regionales y locales, así como empresas y grupos de investigación. Por otro lado, varios institutos del CSIC (IRNAS, IMIB, ICIFOR-INIA e IPE) colaboran con otras instituciones nacionales y, liderados por la Universidad de Santiago de Compostela, usan la metodología de aprendizaje-servicio como hilo conductor de la prevención social para aprender a convivir con los incendios.

Ensayo de incendio forestal en el ICIFOR-INIA. / CÉSAR HERNÁNDEZ

# 2.3.

## Durante el incendio

UNA de las claves para la gestión de incendios es ser capaz de **predecir el riesgo de incendio y el comportamiento del fuego**. Esto es fundamental para informar tareas tanto de mitigación (por ejemplo, la gestión de combustibles preincendio) como de extinción y de seguridad ciudadana durante el incendio. Diversos factores como el viento, el uso del suelo, la humedad y la sequía influyen en el comportamiento de los incendios. Varios grupos del CSIC evalúan el impacto de estos factores en los incendios para conocer las características del fuego y obtener conocimiento que permita gestionarlo mejor.

La medición de la humedad vegetal puede ser una herramienta para estimar de forma remota el riesgo de incendio. Un equipo del Instituto de Economía, Geografía y Demografía (IEGD) ha desarrollado un modelo que permite medir la humedad de la materia combustible viva (vegetación) a partir de datos de satélite e información meteorológica. Esta metodología permite obtener información actualizada para conocer el **riesgo de inflamabilidad** de un paisaje determinado. Un equipo del ICIFOR-INIA también está trabajando en esta línea de caracterización de la humedad de forma remota introduciendo la innovación de correlacionar esta humedad con una medida cuantitativa de la inflamabilidad de los combustibles. El objetivo es conocer la disponibilidad a arder de la vegetación para mejorar los índices de peligrosidad, así como desarrollar umbrales de alerta que permitan planificar las actuaciones por parte de los medios de extinción.

La **sequía** también es un factor clave que influye tanto en la ignición del fuego como en su comportamiento. Un equipo del ICIFOR-INIA, en colaboración con equipos europeos, estudia el efecto de la sequía en el riesgo de incendios de especies forestales mediterráneas. Mediante el seguimiento de parcelas permanentes de exclusión de lluvia se está demostrando que los combustibles resultantes presentan cambios morfológicos y fisiológicos producidos por el estrés, lo que advierte del aumento de la inflamabilidad en escenarios de cambio climático con mayores periodos prolongados de menor precipitación.

El diferente **uso de los suelos** también es una variable relacionada con el riesgo de incendio. Por ejemplo, la extensión de zonas agrícolas puede contribuir a ampliar las zonas de cortafuegos. En



## El Laboratorio de Incendios Forestales del ICIFOR-INIA

Dispone de equipos como el calorímetro de pérdida de masa, la mesa de quemas y el túnel de viento al aire libre. Todos ellos configuran una infraestructura singular y única en España que permite llevar a cabo ensayos de combustión de material ve-

getal a diferentes escalas, desde partícula hasta complejo de combustible. Dichos ensayos tienen aplicaciones en la mejora de tecnologías y toma de decisiones en prevención, restauración y extinción de incendios forestales.



el IEGD, un equipo elabora estimaciones de escenarios futuros en los que el cambio de uso del suelo en regiones españolas puede influir en el régimen de incendios.

Los **vientos** cálidos y fuertes también influyen considerablemente en los incendios. Especialmente, los vientos que van desde zonas continentales montañosas hacia la costa (por ejemplo, en el Mediterráneo), porque cuando se acercan a la costa suelen ser fuertes, cálidos y secos. En la EBD, un equipo trabaja en un software para modelizar el avance de los vientos y obtener información anticipada sobre la posible evolución de los fuegos. Además, el ICIFOR-INIA cuenta con un túnel de viento al aire libre que permite la realización de ensayos a imitación de la realidad. Mediante este dispositivo, se han obtenido modelos de predicción del riesgo de inicio del fuego en diferentes tipos de combustible, y de transición de fuego de superficie a fuego de copas de los árboles.

En la **extinción del fuego** es de importancia capital contar con **agentes químicos** que sean, al mismo tiempo, lo más eficientes posibles pero inocuos para los ecosistemas. Un equipo de la Misión Biológica de Galicia (MBG) estudia, mediante quemas controladas, los efectos de tres agentes extintores sobre las propiedades del suelo y la vegetación en una zona de matorral de Galicia. Intenta optimizar su formulación mediante la adición de arcillas que permitan alargar el tiempo de duración de su eficacia extintora.



# 2.4.

## Gestión posincendio

**C**ONOCER, 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.

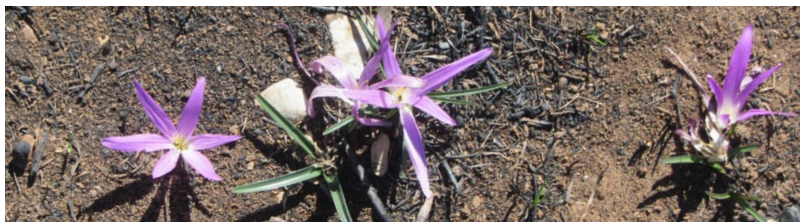
Seguimiento de la recuperación de la flora tras un incendio. / CIDE

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.



## 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

**C**ADA 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 quemas 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 quemadas 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 quemas 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 quemas 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

|||||

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



# 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