



Lucas M. Carbone

Instituto Multidisciplinario de Biología Vegetal, Universidad Nacional de Córdoba-CONICET. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Nacional de Córdoba.



Julia Tavella

Cátedra de Botánica General - Facultad de Agronomía - UBA.



Cecilia Naval

Instituto de Altos Estudios Espaciales Mario Gulich, CO-NAE-UNC, CONICET.



María M. Bianchi

Instituto Nacional de Antropología y Pensamiento Latinoamericano, CONICET.

EL FUEGO EN LOS ECOSISTEMAS ARGENTINOS

Este artículo de divulgación es un emergente del Simposio *Rol ecológico y evolutivo del fuego sobre los ecosistemas argentinos* realizado en el marco de las 37° Jornadas Argentinas de Botánica, el 10 de septiembre de 2019, en San Miguel de Tucumán, Argentina.

<https://botanicaargentina.org.ar/rol-ecologico-y-evolutivo-del-fuego-sobre-los-ecosistemas-argentinos-simposio-jab-2019/>

INTRODUCCIÓN

Las personas usualmente conciben los incendios como catástrofes naturales, con efectos negativos para los organismos y los ambientes. Esta visión, favorecida por el sensacionalismo de los medios de comunicación, quizás tiene sus bases en percibir al fuego como un disturbio aislado en el tiempo y en el espacio, que elimina la totalidad de los organismos vivos, dejando solo cenizas y suelos estériles. Sin embargo, los incendios forman parte de la naturaleza, modelando la distribución de los ecosistemas terrestres y generando biodiversidad. El estudio del régimen de fuego, es decir, las características de los incendios en una región determinada incluyendo su variabilidad temporal y espacial, es una concepción más holística que permite entender mejor la compleja relación entre el fuego y los ecosistemas. Existen regímenes de incendios que son sostenibles desde el punto de vista ecológico, como los incendios de pastizales en los Parques Nacionales El Palmar o Quebrada del Condorito. Sin embargo, los actuales cambios globales producidos por la especie humana, traducidos en el cambio climático y los cambios en el uso de la tierra, están produciendo incendios en

ecosistemas sensibles al fuego (como el Amazonas, las Yungas o la Selva Paranaense), o están alterando los patrones históricos de incendios en regiones donde normalmente el fuego está presente. Por lo tanto, es imprescindible entender la relación entre los cambios en los regímenes de fuego producidos por las actividades humanas y la respuesta de los ambientes para desarrollar una visión crítica y planificar acciones con el objetivo de mitigar efectos ecológicos insostenibles.

Una de las preguntas más comunes que las personas se plantean es si los incendios son buenos o malos, y en qué medida. Este artículo pretende compartir con toda la sociedad parte del conocimiento científico desarrollado sobre nuestros ambientes propensos a incendios, tratando de responder varios aspectos desde la Ecología del Fuego. Para ello, organizamos el contenido en relación a cómo el régimen de fuego afecta las propiedades de los ecosistemas, los organismos que forman parte del mismo, y las interacciones bióticas (Figura 1).

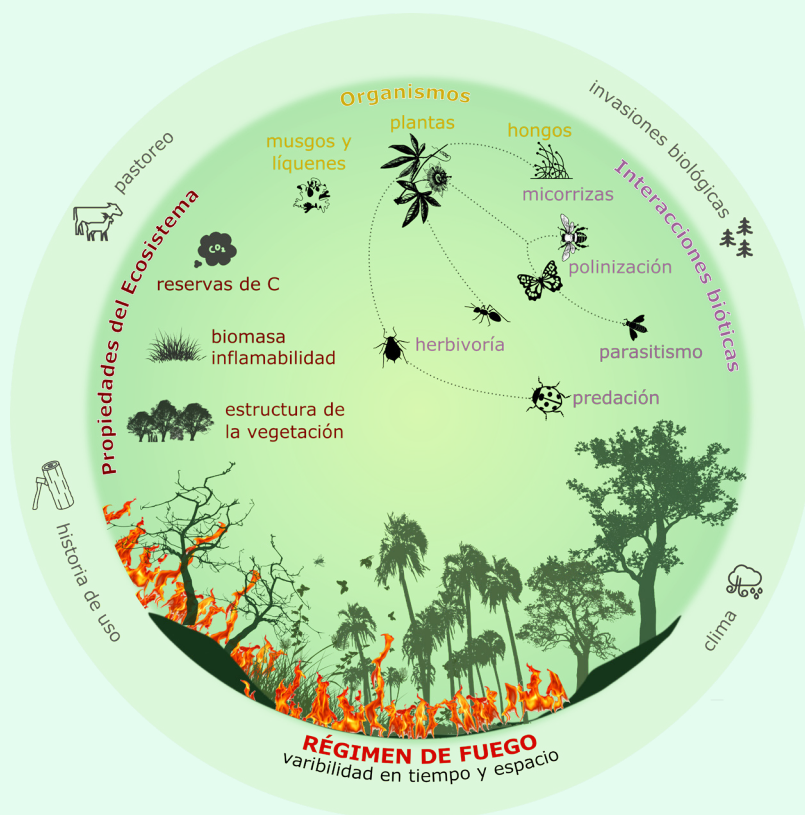


Figura 1: Cómo el régimen de incendios, es decir, la ocurrencia de eventos de fuego en una región y en un periodo de tiempo determinados, afecta a los ecosistemas (esfera interna). Particularmente, el fuego puede afectar a las propiedades del ecosistema (estructura de la vegetación, biomasa, inflamabilidad y reservas de carbono), a sus organismos (plantas, hongos, musgos, líquenes y animales), y a las interacciones bióticas que éstos establecen (micorrizas, polinización, herbivoría, parasitismo, predación). Además, otros factores junto al régimen de fuego pueden afectar la respuesta del ecosistema (esfera externa), tales como el clima, el pastoreo por el ganado doméstico, la historia de uso (tala, rolado) y las invasiones biológicas de especies exóticas. Íconos: thenounproject.com y clipart-library.com.



Juan M. Rodríguez

Instituto de Investigaciones Biológicas y Tecnológicas (CONICET - UNC) - Centro de Ecología y Recursos Naturales Renovables (FCEfYN - Universidad Nacional de Córdoba).



Paula Marcora

Instituto Multidisciplinario de Biología Vegetal, Universidad Nacional de Córdoba-CONICET.



Silvana Longo

Instituto Multidisciplinario de Biología Vegetal, Universidad Nacional de Córdoba-CONICET.



Carlos Urcelay

Instituto Multidisciplinario de Biología Vegetal, Universidad Nacional de Córdoba-CONICET.



Pedro Jaureguiberry

Instituto Multidisciplinario de Biología Vegetal, Universidad Nacional de Córdoba-CONICET.



Marcos Landi

Instituto de Altos Estudios Espaciales Mario Gulich, CONAE-UNC, CONICET.

Centro de Investigación y Estudios de Matemática, Facultad de Matemática, Astronomía, Física y Computación, Universidad Nacional de Córdoba - CONICET.



Sandra Bravo

Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Nacional de Santiago del Estero.



Melisa Blackhall

Laboratorio Ecotono, Instituto de Investigaciones en Biodiversidad y Medioambiente, Universidad Nacional del Comahue-CONICET.

1. Fuego y propiedades del ecosistema

¿Cómo podemos conocer el régimen de incendios de una región? Restos vegetales que nos hablan sobre la historia del fuego en los bosques patagónicos

María Martha Bianchi

Se define como régimen de incendios de una región a una combinación de características tales como la magnitud, la severidad y la frecuencia de los episodios de incendio. Sabemos que existe una interdependencia dinámica entre los incendios, el clima y la vegetación. De tal modo, cambios en el clima de una región producen cambios en la vegetación y a su vez, el tipo de vegetación que existe en un momento dado determina el régimen de incendios. Inversamente, los incendios de gran magnitud pueden provocar el reemplazo de un tipo de vegetación por otro. A pequeña escala espacial (metros, pocos km²) y temporal (duración en horas, días, meses), los incendios están determinados por las condiciones meteorológicas, la topografía y el tipo de biomasa que se quema. En escalas espaciales y temporales mayores, de cientos a miles de km² y en décadas, siglos o milenios, las variaciones en el clima, en la vegetación y la intervención del ser humano sobre el ambiente son los factores principales que producen los cambios en los regímenes de incendio. Existen metodologías que incluyen métodos físicos, químicos y estadísticos que nos permiten identificar y estudiar incendios producidos hace cientos o miles de años. Los sedimentos depositados en los fondos de los lagos por miles de años contienen registros precisos de esos antiguos incendios. Las partículas de carbón, los granos de polen y los pequeños fragmentos vegetales presentes en los sedimentos lacustres son analizados para conocer cuándo se produjeron esos antiguos incendios y determinar su magnitud, severidad y recurrencia (Figura 2). De este modo podemos reconstruir la historia de incendios en la cuenca de un lago. Comparando las historias de cuencas vecinas y de distintas regiones podemos investigar las causas que dieron origen a los cambios en los regímenes de fuego.

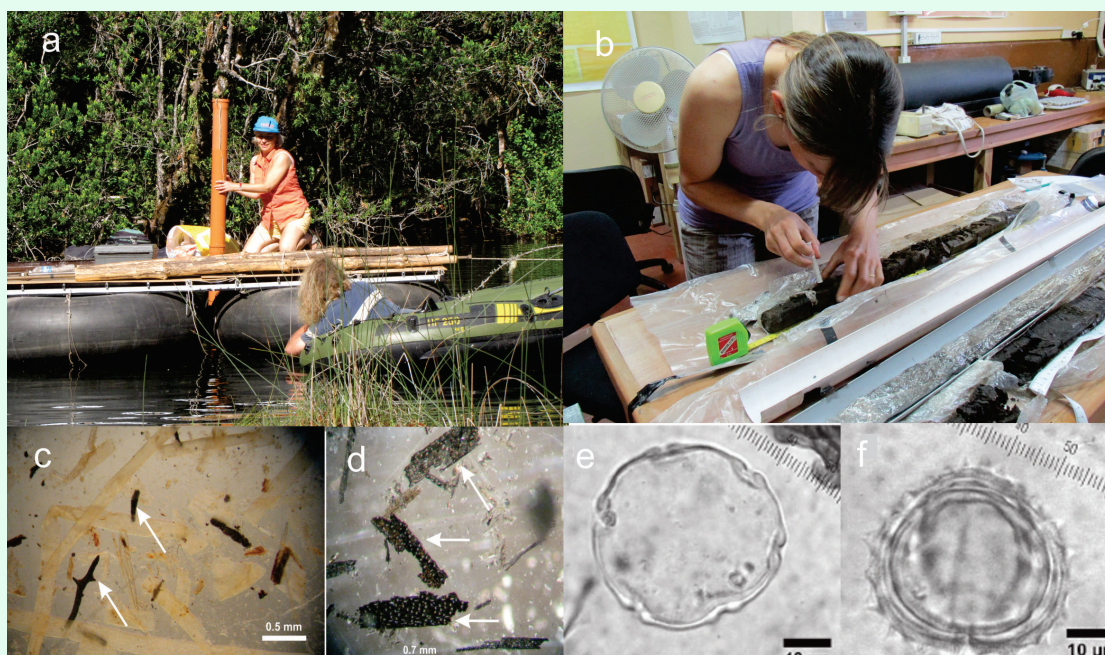


Figura 2: Cómo se analizan los sedimentos de un lago para conocer el régimen de fuego: extracción de sedimentos (a), análisis en laboratorio (b), observación e identificación de fragmentos de restos vegetales, carbón leñoso (c), epidermis quemada de gramíneas (d), grano de polen de *Nothofagus* (e) y de Asteráceas (f).

Estudios realizados en bosques subantárticos en patagonia norte (provincia de Río Negro) demuestran que hace 18.000 años, los glaciares que cubrían la zona andina comenzaron a reducirse debido a un aumento de temperatura en todo el planeta. A partir de ese período, especies del género *Nothofagus* (coihue, lenga y ñire) ocuparon los espacios ya libres de hielo y dominaron el sector andino del norte de la Patagonia. Estos antiguos bosques poseían una gran diversidad de especies y los incendios eran severos pero poco frecuentes. Posteriormente, hace 9.000 años, probablemente debido a un aumento en la estacionalidad de las lluvias, disminuyó la diversidad de estos bosques, que fueron reemplazados por bosques más cerrados de coihue (*Nothofagus dombeyi*), en los que los incendios se tornaron menos severos. Otro hito en la historia de estos bosques se produjo entre los 4.000 y 5.000 años antes del presente, cuando el ciprés de la cordillera (*Austrocedrus chilensis*), que había permanecido durante el período glacial protegido al noroeste de la cordillera de los Andes, comenzó a avanzar sobre el bosque de *Nothofagus*. Así se originaron los bosques mixtos de coihue y ciprés, donde los incendios se tornaron más frecuentes y adquirieron mayor magnitud espacial. Más recientemente, hace unos 200 años, comenzaron los asentamientos de inmigrantes europeos, que para establecerse en comunidades agrícola-ganaderas quemaron grandes extensiones de bosque mixto. Como consecuencia, la severidad y la frecuencia de los incendios aumentaron en toda la Patagonia de Chile y Argentina. Actualmente, debido a los efectos del cambio climático y del impacto humano (urbanización, ganadería), el matorral (arbustal) está reemplazando al bosque. Esta vegetación abundante en arbustos inflamables como chacay (*Discaria chacaye*), retamo (*Diostea juncea*), y laura (*Schinus patagonicus*), tiene una alta capacidad de recuperación luego de los

incendios, ocupando el área quemada rápidamente, e impidiendo así el crecimiento de árboles juveniles y la regeneración del bosque (Figura 3). Esta dinámica tiene como resultado actual el aumento de la frecuencia de incendios, la expansión del matorral y la disminución de la biodiversidad en toda la región.

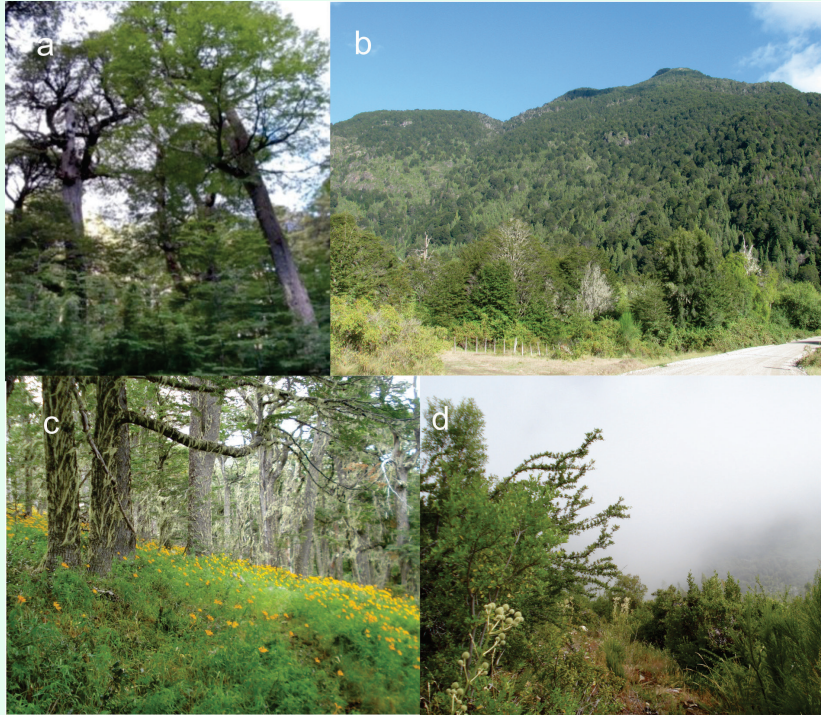


Figura 3: Unidades de vegetación en la Patagonia (Cerro Montura, Río Negro): bosque de coihue (*Nothofagus dombeyi*, a), bosque mixto de coihue-ciprés (*N. dombeyi* y *Austrocedrus chilensis*, b), bosque de lenga (*Nothofagus pumilio*, c), y matorral post-incendio (d).

¿Cómo el fuego afecta las reservas de carbono? Estudio en los pastizales de altura de las sierras de Córdoba

Cecilia Naval

El fuego y el pastoreo son disturbios (es decir, factores que remueven la biomasa vegetal) importantes en ecosistemas de pastizales como el de Pampa de Achala en las sierras de Córdoba, donde se encuentran el Parque y la Reserva Nacional Quebrada del Condorito. Estos disturbios afectan el reservorio de carbono (C) aéreo, es decir el C almacenado en las plantas, al comportarse como consumidores alternativos de la vegetación. Sin embargo, se diferencian en que el fuego no es selectivo, consumiendo tanto material vegetal vivo como muerto, mientras que el ganado sí lo es y prefiere consumir el material vivo, ya que posee mayor calidad nutricional. Dado que la biomasa vegetal aérea constituye el compartimiento más visible de los reservorios de C de los ecosistemas terrestres, los cambios producidos en esta son importantes indicadores del impacto de la intervención humana en los beneficios relacionados al secuestro del C en la vegetación y en los perjuicios de su emisión como dióxido de carbono (CO₂, uno de los gases responsable del efecto invernadero) a la atmósfera cuando la vegetación se quema.

Para analizar el efecto del fuego y el pastoreo sobre el reservorio de C aéreo, se realizó un estudio en los pajonales finos y gruesos del Parque y la Reserva, en sitios con diferente historial de fuego (no quemado y quemado) y pastoreo (exclusión, bajo-moderado y alto). Un año después de un incendio ocurrido en 2015, se determinó la biomasa aérea de los pajonales a través de métodos destructivos (corte, secado y pesado) y no destructivos (ecuaciones alométricas locales, Figura 4).



Figura 4: Pajonales del Parque y Reserva Nacional Quebrada del Condorito, Córdoba (a). Determinación de la biomasa aérea de la vegetación a través de métodos destructivos de corte y recolección (b), y no destructivos a partir de la medición de variables para la elaboración de ecuaciones alométricas locales (c).

Con estos datos se estimó el reservorio de C aéreo, como el 50% de la biomasa aérea seca de la vegetación. En los pajonales finos, el fuego provocó una disminución del reservorio de C aéreo total similar a la ocasionada por el pastoreo alto y mayor a la ocasionada por el pastoreo bajo-moderado. En el caso de los pajonales gruesos, el único disturbio determinante del reservorio de C aéreo total fue el fuego, visto que el pastoreo bajo-moderado no tuvo un efecto significativo sobre el reservorio por sí sólo ni en conjunto con el fuego.

Los pajonales de Pampa de Achala tienen una gran potencialidad como sumideros de C dado que pueden almacenar hasta 28 Tn C/ha en la vegetación. Esto corresponde al 50-60% del C encontrado en la vegetación de los bosques maduros del Chaco Seco. Este C almacenado equivale a alrededor de 100 Tn/ha de CO₂, lo que emiten 12 argentinos promedio por año. Sin embargo, este reservorio se encuentra severamente afectado por el sobrepastoreo y fuego asociado, que combinados pueden llegar a ocasionar pérdidas del 46% del C en los pajonales finos. En el caso del incendio del año 2015, que duró 14 días y afectó casi $\frac{1}{3}$ del área del Parque, se emitieron 200 mil Tn de CO₂, lo que corresponde a las emisiones anuales de 23 mil argentinos promedio por año. En síntesis, el fuego, en combinación con el pastoreo, es un importante factor que modela el balance entre el secuestro de C y las emisiones de gases de los ecosistemas del centro de Argentina.

Combustibles en matorrales y bosques patagónicos: ¿Qué ocurre cuando se introducen especies?

Melisa Blackhall

Durante el Antropoceno, la actual época geológica dominada por la humanidad y por su impacto sobre los ecosistemas propuesta por algunos especialistas, uno de los factores que influyen fuertemente en el cambio global ambiental es la introducción de especies no nativas en ambientes donde antes no estaban presentes. Entre los impactos ecológicos más importantes producidos por estas, encontramos la pérdida de biodiversidad, los cambios en las interacciones entre especies o los regímenes de disturbio propios de cada ambiente. El fuego es uno de los disturbios que puede ser modificado por la introducción de especies, tanto animales como vegetales, y estos cambios pueden afectar diferentes características de los regímenes, como ser la frecuencia, severidad o intensidad del fuego. En el noroeste de la Patagonia y a lo largo del último siglo, el estado nacional y las provincias han promovido la producción de ganado doméstico introducido y la plantación de Pináceas exóticas forestales. Estas especies se encuentran entre las más fomentadas a nivel económico en la región y, debido a su gran abundancia y producción extensiva, han provocado históricamente un gran impacto sobre el uso de la tierra. En este marco, estudiamos la inflamabilidad de la vegetación y cómo estas características pueden ser afectadas por la introducción del ganado vacuno en los matorrales pirófilos de ñire (*Nothofagus antarctica*) y en bosques pirófobos de lenga (*N. pumilio*), o la introducción y posterior invasión de pino (*Pinus radiata*, especie adaptada al fuego en su área de distribución nativa) en bosques nativos de coihue (*N. dombeyi*; Figura 5).

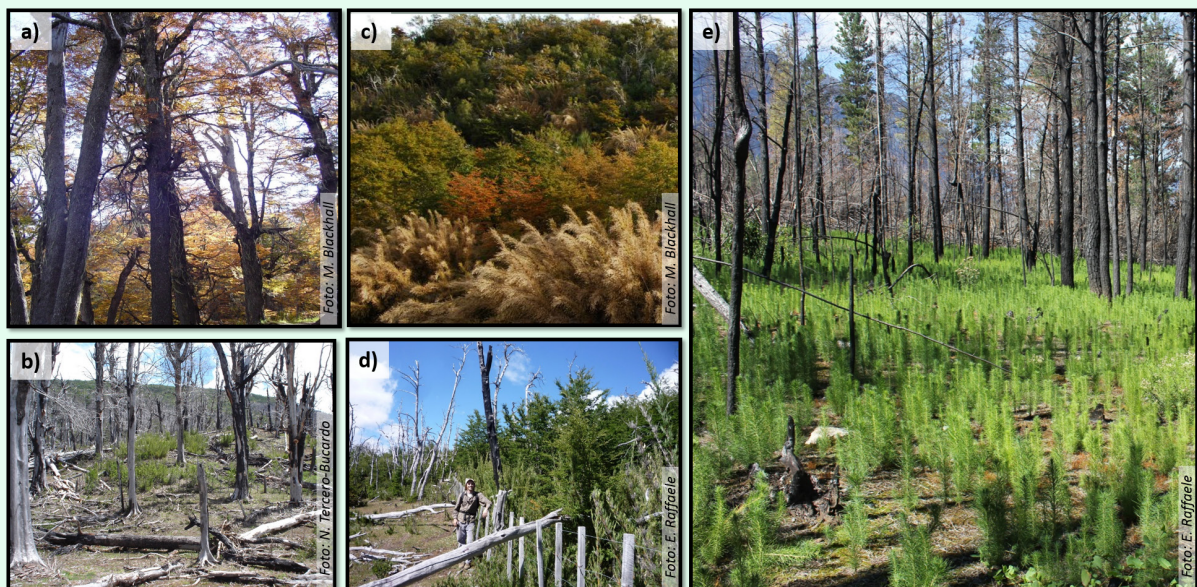


Figura 5: Bosque de lenga (*Nothofagus pumilio*) no quemado (a) y quemado donde se observa una clausura contra ganado al centro (b); matorral de ñire (*Nothofagus antarctica*) no quemado (c) y afectado por el fuego donde se observa la vegetación creciendo en una clausura contra ganado a la derecha (d); y juveniles de pino (*Pinus radiata*) invadiendo un ambiente patagónico luego de un incendio.

Tanto el ganado como la invasión post-fuego de pino modifican diversas características biofísicas de la hojarasca. Estos ambientes modificados presentan una hojarasca con menor humedad y con mayor probabilidad de ignición. La composición de la hojarasca también cambia al introducir especies, observándose una menor riqueza de componentes que la conforman. Por otro lado, al estudiar la vegetación del sotobosque como combustible del fuego, observamos que los ambientes bajo presión de ganado vacuno y los ambientes invadidos por pinos adultos presentan una mayor proporción de combustible fino seco en relación al total de combustibles finos, es decir, mayor proporción de material vegetal que puede entrar en ignición más fácilmente. Por otro lado, la carga total del combustible en el sotobosque puede evaluarse en términos de su continuidad, y esto nos permite inferir qué tan probable es que un incendio de superficie se traslade al dosel arbóreo. En general, al aumentar la edad del rodal dominado por pino, también aumenta la carga y continuidad del combustible fino y seco con respecto al bosque nativo. En áreas post-fuego el ganado disminuye la continuidad vertical y horizontal del combustible, siendo esta disminución más abrupta en el matorral pirófilo de ñire.

En síntesis, el ganado introducido puede potencialmente reducir la probabilidad de propagación de un fuego a través de la reducción de combustible y de su conectividad (especialmente en el matorral pirófilo), pero también puede retrasar o impedir la regeneración del bosque pirófilo al consumir los renovales de lenga. La introducción de plantas forestales puede también modificar la inflamabilidad de los sistemas a través del aumento de combustible y de su conectividad. Por lo tanto, las especies exóticas con alta abundancia pueden afectar las características del combustible fino y modificar el riesgo y probabilidad de propagación de incendios.

Un ecosistema que se quema, ¿Se recupera y vuelve a ser como antes? Conociendo la dinámica después del fuego en la región chaqueña

Marcos Landi

Luego del paso de las llamas se producen cambios profundos en los ecosistemas debido a la muerte y consumo de biomasa de especies vegetales. Pero como sabemos, luego del incendio muchos árboles y arbustos del bosque chaqueño pueden sobrevivir y rebrotar, lo que permite regenerar la cubierta del bosque. Es decir, el bosque posee la capacidad potencial de recuperarse y alcanzar las condiciones similares que presentaba antes del incendio. Sin embargo, a pesar de esta capacidad general de recuperación, el bosque no siempre vuelve a regenerarse. Entonces, resulta interesante preguntarse de qué depende que el bosque pueda regenerarse. Uno de los factores más importantes es la capacidad que poseen los árboles de sobrevivir y rebrotar. Además, la probabilidad de que el ambiente se vuelva a quemar antes de poder recuperarse es otro factor relevante que no siempre es tenido en cuenta.

Dicha probabilidad está influenciada por la manera en que varía la inflamabilidad (capacidad de prender y propagar una llama) del bosque luego del incendio. Si bien todavía no se han realizado estudios formales para el bosque chaqueño, la evidencia sugiere que en el bosque se produce un incremento de la inflamabilidad en los primeros años post-incendio, debido principalmente a la mayor cantidad de biomasa de especies herbáceas (pastos), cuya regeneración es más rápida que la de especies leñosas. Luego de alcanzar un pico, la inflamabilidad disminuiría lentamente debido a que al cerrarse el dosel del bosque disminuye el aporte de estos combustibles más inflamables. Esto significa que, a medida que pasa el tiempo desde el incendio, disminuye el riesgo de ocurrencia de nuevos incendios y aumenta la probabilidad de que el bosque se regenere (Figura 6). Sin embargo, durante las

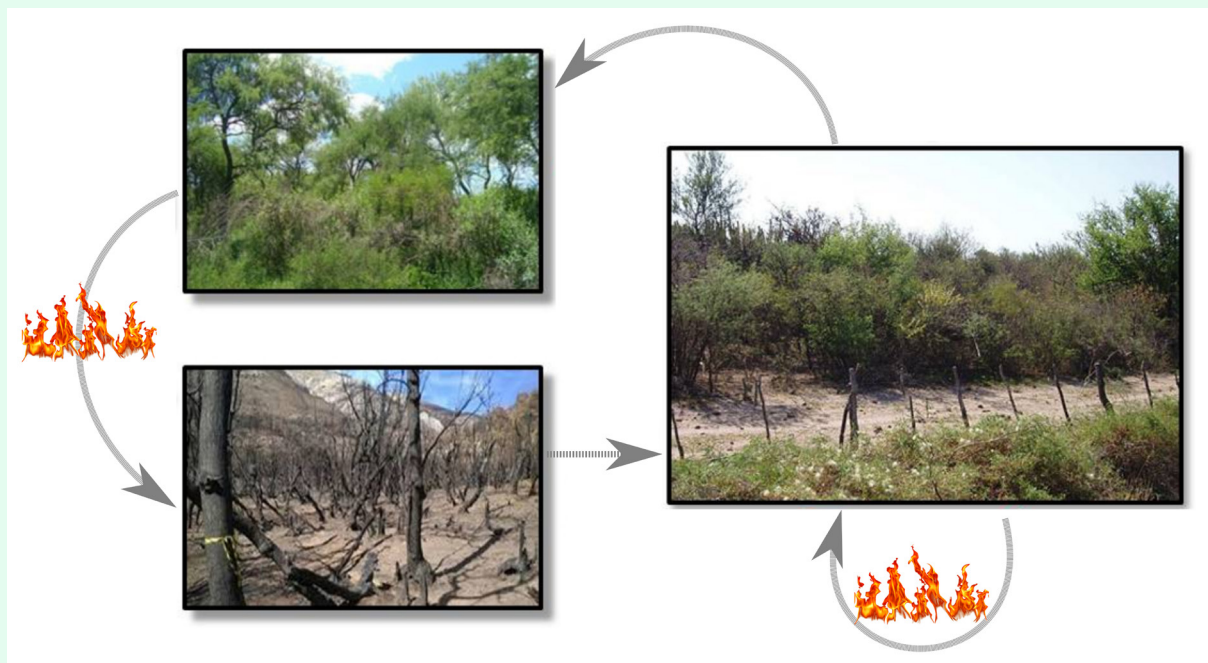


Figura 6: Dinámicas post-fuego según la probabilidad de ocurrencia de incendios. Cuando no se generan nuevos incendios durante la regeneración, la inflamabilidad disminuye y el bosque sigue el proceso de recuperación. Cuando ocurren nuevos incendios durante la regeneración, se incrementa la inflamabilidad y la ocurrencia de futuros incendios, donde la vegetación original cambia a una fisonomía de matorral, permaneciendo en ese estado.

primeras décadas post-fuego, el riesgo de que ocurran nuevos incendios es elevado. Si se produce un nuevo incendio, entonces se vuelve a generar un incremento en la inflamabilidad, lo que facilita la ocurrencia de futuros incendios. Cuando se da esta dinámica, la vegetación tiende a quedarse en un estado sucesional de matorral o arbustal, debido a que los incendios recurrentes impiden la regeneración total de las especies leñosas (Figura 6). Por lo tanto, podemos decir que el bosque chaqueño posee la capacidad de regenerarse luego de un incendio, pero la probabilidad de que el proceso pueda desarrollarse está condicionada a la ocurrencia de nuevos incendios. Como conclusión, podemos decir que luego de un incendio es necesario facilitar las condiciones para la regeneración del bosque, lo que permite disminuir la inflamabilidad del mismo e incrementar sus chances de recuperación.

2. Fuego y organismos

¿Qué estrategias presentan las plantas para sobrevivir a los incendios?

Pedro Jaureguiberry

El fuego es un factor ecológico de gran relevancia en muchos ecosistemas del mundo, afectando la dinámica de la vegetación a distintas escalas, desde individuos hasta comunidades. El comportamiento de las plantas en relación al fuego comprende, por un lado, su efecto sobre el ecosistema a través de su inflamabilidad; y por otro lado su respuesta a través del rebrote y/o el reclutamiento de nuevos individuos a partir de semillas. A su vez, estos aspectos fundamentales son influenciados por las características morfo-anatómicas, fisiológicas y fenológicas de las plantas, y por sus interacciones y compromisos que determinan distintas combinaciones o síndromes de respuesta en relación al factor fuego (Figura 7).

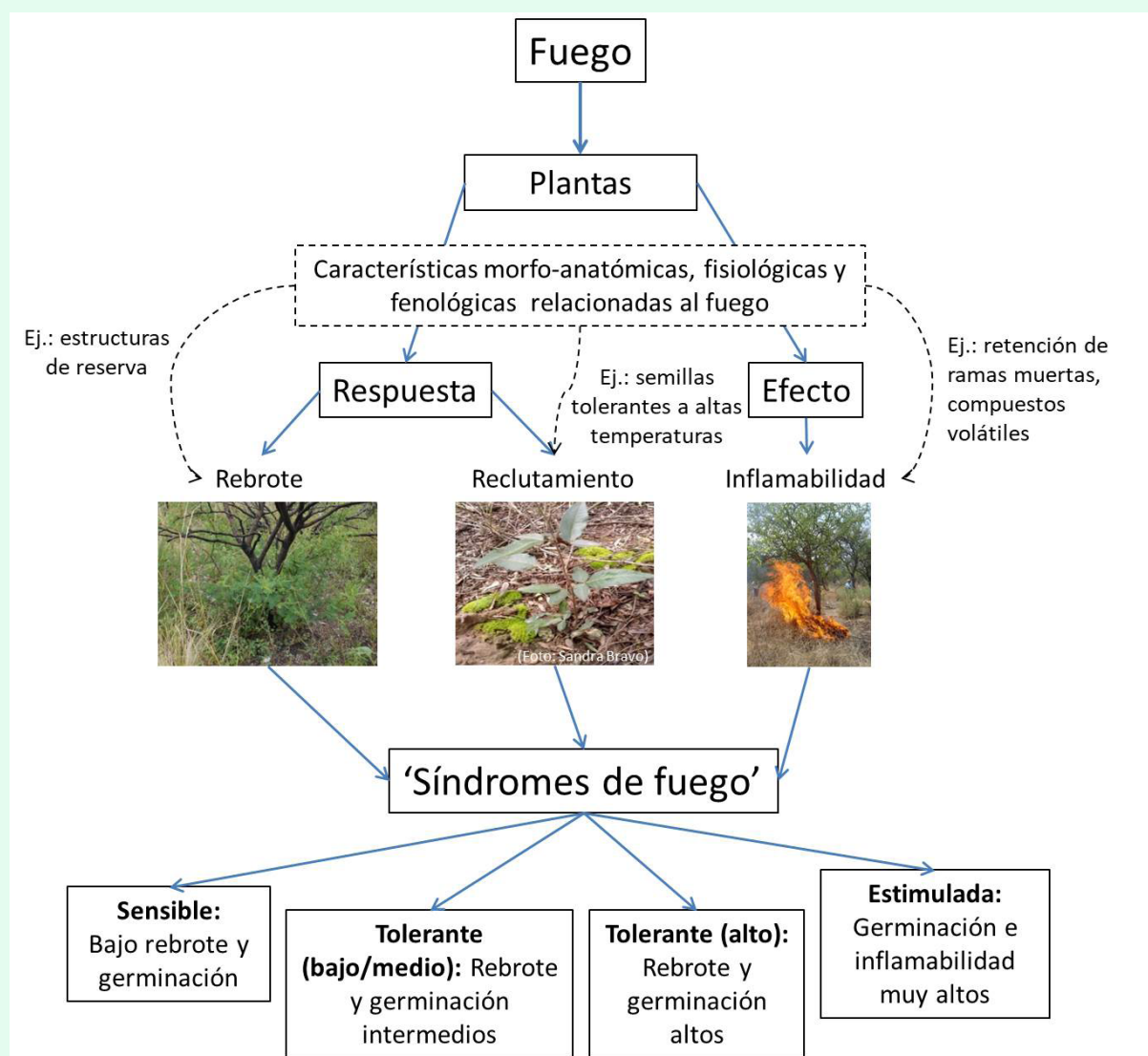


Figura 7: Principales aspectos de respuesta y efecto de las plantas sobre el ecosistema en relación al factor fuego. Por un lado, el rebrote de tejido vegetativo que sobrevive al fuego, o bien el reclutamiento de nuevos individuos a partir de semillas; y por otro lado, su inflamabilidad. Estos aspectos, influenciados por las características morfo-anatómicas, fisiológicas y fenológicas relacionadas al fuego propias de cada especie, se combinan en diferentes síndromes de fuego

Por ejemplo, la retención de ramas muertas o la presencia de compuestos volátiles en los tejidos son características que aumentan la inflamabilidad; mientras que la presencia de yemas en estructuras vegetativas de reserva y de semillas que toleran altas temperaturas durante un incendio aumentan la capacidad de rebrote y de reclutamiento, respectivamente (Figura 7). Debido a que el fuego es un filtro evolutivo que selecciona a las especies capaces de soportar sus condiciones, es esperable que muchas especies de plantas hayan desarrollado adaptaciones al mismo, en particular en regiones propensas al fuego, como aquellas con estaciones cálidas y secas. Además, es esperable encontrar distintos síndromes de inflamabilidad y respuesta al fuego en regiones con diferentes historias de fuego. Estos síndromes pueden ir desde especies sensibles al fuego, que tienen una baja capacidad de rebrote y de germinación post-fuego combinada con distintos grados de inflamabilidad, hasta especies estimuladas por el fuego, que presentan una alta inflamabilidad y capacidad de germinación, combinada con distintos grados de capacidad de rebrote. Entre estos dos extremos hay especies con tolerancia baja/media y con alta tolerancia al fuego, las cuales combinan de distinta forma estos tres aspectos clave mencionados (Figura 7). Estos síndromes son determinantes en la dinámica de los ecosistemas sujetos a incendios, y su caracterización, tanto en la región Chaqueña como en otras regiones propensas al fuego, permitirá avanzar en la identificación y comparación de patrones ecológicos y evolutivos entre distintas floras, así como en la modelización del fuego y sus consecuencias para la planificación regional. Esto podría aplicarse tanto a las condiciones actuales como a las condiciones cambiantes proyectadas para las próximas décadas dentro del contexto del cambio ambiental global.

La respuesta al fuego de las plantas chaqueñas

Sandra Bravo

En la región Chaqueña, uno de los ambientes semiáridos boscosos continuos más extensos del mundo, la respuesta al fuego de las especies leñosas (arbustos y árboles) suele ser difícil de evaluar de manera aislada, ya que este disturbio ocurre combinado con otros vinculados al aprovechamiento forestal y ganadero extensivo de los bosques, generalmente no planificados. La percepción inicial de la baja inflamabilidad de las leñosas chaqueñas ha variado conforme el hallazgo de nuevos estudios que tienen en cuenta rasgos de las plantas como el contenido de materia seca y humedad en hojas y ramas, tiempo de secado, grado de ramificación, hábito de crecimiento y persistencia de las hojas. Hoy sabemos que las leñosas que componen la mayor parte de la biomasa de los bosques chaqueños presentan inflamabilidad media a elevada y que el hábito de crecimiento (arbusto/árbol) y la persistencia de las hojas contribuyen a diferenciar el comportamiento de las especies como combustible. Las especies menos inflamables incluyen árboles de hojas caducas mientras las más inflamables, arbustos densamente ramificados y de follaje perenne.

La estimación de la inflamabilidad realizada a partir de la caracterización de rasgos funcionales se ajusta muy bien con las determinaciones realizadas con un dispositivo estandarizado para evaluar la inflamabilidad de ramas, en presencia de fuego (Figura 8). Los disturbios como el fuego, rolados y aprovechamiento forestal para leña, incrementan el área foliar y el área foliar específica, siendo esto más notable entre especies pioneras o arbustivas. Esto indica que los mismos aumentan la inflamabilidad, o en otras palabras, la capacidad de que las plantas se enciendan más fácilmente y propaguen las llamas.

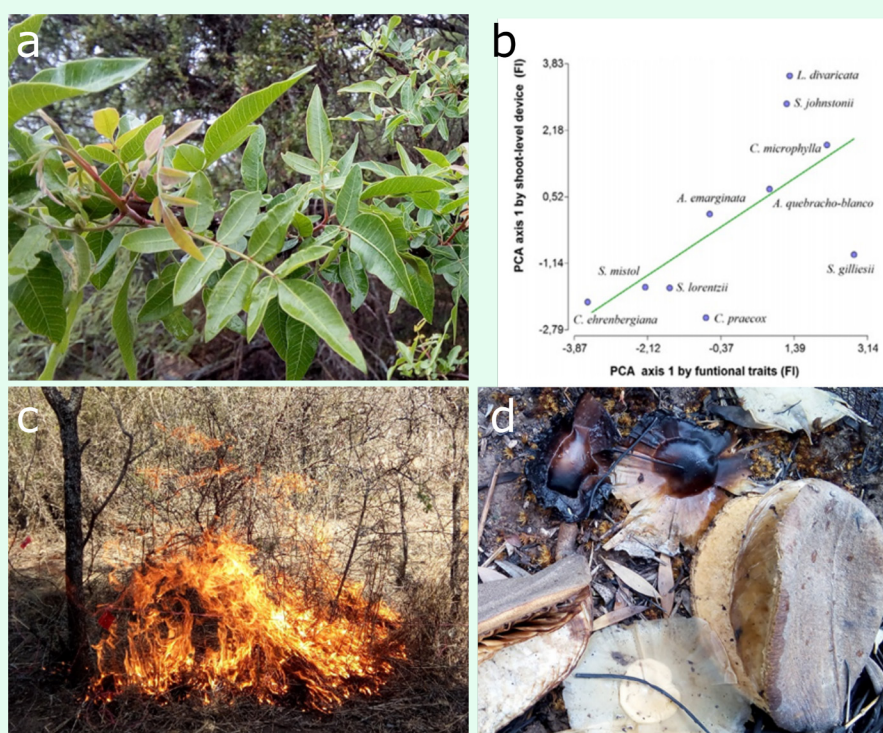


Figura 8: Estudios de inflamabilidad y reclutamiento post-fuego en especies leñosas del Chaco Occidental. Follaje de quebracho colorado santiagueño (*Schinopsis lorentzii*, a). Gráfico que muestra el elevado ajuste entre los rasgos funcionales relacionados a inflamabilidad y de variables determinadas en dispositivo para evaluación de ramas (b; tomado de Santacruz et al., 2019). Quemadas experimentales a campo (c). Evaluación del reclutamiento post-quema observando semillas de quebracho blanco (*Aspidosperma quebracho-blanco*) incineradas (d).

La regeneración vegetativa a través de rebrotes es la que predomina en bosques con disturbios, particularmente después del fuego. Los estudios sobre viabilidad, dormición y tolerancia al golpe térmico en laboratorio, en semillas de 6 especies leñosas chaqueñas sugieren que la regeneración por vía sexual (semillas) puede verse dificultada por la escasa tolerancia a temperaturas superiores a los 110 °C. Al realizar quemadas experimentales a campo, los resultados fueron consistentes con las evaluaciones en laboratorio, mostrando un nulo reclutamiento de los propágulos (frutos y semillas) ubicados en la hojarasca. Esto indicaría que las características de las semillas (tamaño, peso y tipo de cubierta) y su habilidad para incorporarse al suelo (y escapar de las llamas) parecen ser claves en la supervivencia de estos propágulos en ambientes disturbados por fuego.

¿Cómo el fuego afecta a los hongos, musgos y líquenes? Afinando la puntería sobre un mundo poco conocido

Silvana Longo, Carlos Urcelay y Juan Manuel Rodríguez

Para responder esta pregunta, se seleccionaron sitios incendiados (un año después del fuego) y no incendiados apareados en el Chaco Serrano (región montañosa del Chaco) del centro de Argentina, representando diferentes áreas a escala de paisaje. Allí se compararon las comunidades de hongos micorrízicos arbusculares. Estos hongos establecen simbiosis con las raíces de las plantas, a las que ayudan a obtener nutrientes del suelo. En todas las áreas se observó que la diversidad de hongos en sitios incendiados se redujo a aproximadamente la mitad que la observada en sitios no incendiados. Este perjuicio en las comunidades de hongos posiblemente tenga impacto en el establecimiento y nutrición de las plantas luego de los incendios.

Otro componente de la diversidad muy afectado por los incendios son los líquenes y musgos (Briófitos) que forman parte de la cobertura del suelo. En un estudio reciente, realizado en los bosques de tabaquillo (*Polylepis australis*) de las Sierras Grandes de Córdoba, se observó que luego de 15 meses de ocurrido un incendio, la superficie ocupada por estos organismos disminuyó drásticamente en sitios quemados (Figura 9). Sin embargo, las plantas superiores o vasculares

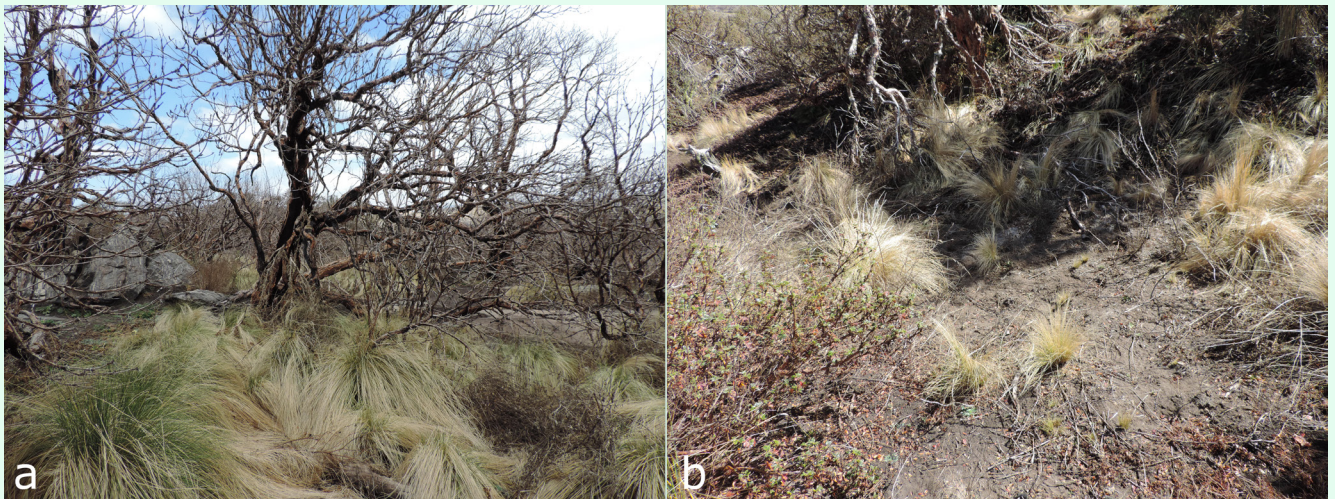


Figura 9: Bosque de tabaquillo (*Polylepis australis*) 15 meses después de un incendio en las Altas Cumbres de Córdoba (a). Suelo con nula o baja cobertura de musgos (briófitos) y líquenes luego del fuego, donde puede observarse la recuperación de los pastos (b).

(principalmente pastos) se recuperan sustancialmente. Por otra parte, los líquenes epífitos y saxícolas (aquellos que crecen sobre las ramas de árboles y sobre rocas, respectivamente) prácticamente desaparecen luego de un incendio, representando una pérdida de más de 150 especies en relación a los bosques no quemados.

En otro estudio realizado en el Chaco Serrano se encontró que las comunidades de líquenes que se desarrollan en bosques quemados están compuestas por especies pioneras, fotófilas y generalistas (que pueden desarrollarse sobre distintos sustratos); es decir, tolerantes a ambientes estresados como aquellos afectados por algún disturbio. No obstante, estos ensamblajes comunitarios recién fueron observados luego de 15 años de ocurrido un evento de fuego.

En síntesis, el impacto del fuego, un disturbio tan común como recurrente en el centro de Argentina, debe analizarse de manera tal que incluya a los componentes menos conocidos (y quizás más sensibles) de los ecosistemas, como hongos, líquenes y musgos. Su importancia arraiga en que los futuros estadios sucesionales de la vegetación y la restauración de los beneficios que estos sistemas prestan directa o indirectamente a la sociedad (como por ejemplo la disponibilidad de nutrientes esenciales para las plantas), también dependen de estos organismos.

¿El fuego favorece la invasión de especies exóticas? La acacia negra y su avance por las montañas

Paula Marcora y Carlos Urcelay

Las invasiones biológicas, es decir, la introducción intencional o accidental de especies exóticas (no propias) en un ambiente, son una de las principales amenazas a la biodiversidad mundial. Las montañas son ecosistemas que, en la actualidad, están mayormente libres de especies invasoras y se asume que el clima es el principal factor que limita su avance. Sin embargo, las actividades humanas han incrementado los disturbios (fuego y sobrepastoreo) y la invasión de especies leñosas exóticas en sistemas montañosos de todo el mundo. Si los disturbios promueven o retardan la invasión en ambientes montañosos es controversial en base a los escasos estudios desarrollados. Asimismo, es de esperar que los disturbios tengan distinto efecto a diferentes elevaciones, ya que las condiciones climáticas (temperatura y humedad) varían.

La acacia negra (*Gleditsia triacanthos*) es una de las leñosas invasoras más exitosas en las zonas bajas del centro de Argentina (Chaco Serrano y Espinal). A través de un estudio experimental, se evaluó si la acacia negra puede expandir su distribución en altura en las Sierras Grandes de Córdoba en respuesta a los dos principales disturbios del ecosistema montañoso: ganadería e incendios. A través de diversos ensayos de siembra se evaluó la emergencia (germinación) y crecimiento en parcelas incendiadas y no incendiadas, con y sin protección del ganado, en dos altitudes contrastantes, es decir, en una altitud donde la especie actualmente está establecida (1.000 m s.n.m.) y en otra donde aún no ha llegado (2.400 m s.n.m.). Tanto los incendios como el ganado redujeron la emergencia de plántulas en ambas altitudes.

Mientras en los sitios incendiados el crecimiento de estos juveniles fue mayor, su biomasa total no fue modificada por los disturbios en la mayor altitud, pero fue reducida por el ramoneo y aumentada en las parcelas incendiadas en la menor altitud.

Entonces, la expansión de la acacia negra estaría restringida (aunque no impedida) por las condiciones climáticas de las partes más altas de las Sierras Grandes y por el pastoreo en las partes más bajas. En la parte baja de las sierras, el establecimiento de nuevos juveniles en áreas incendiadas es más restringido que en aquellas no incendiadas; pero, una vez establecidos, las plantas jóvenes tienen mejor desempeño en las áreas incendiadas. Esto posiblemente se deba a una menor competencia entre las especies vegetales que desaparecen con los incendios.

3. Fuego e interacciones bióticas

¿Cómo el fuego afecta a los polinizadores?

Lucas M. Carbone

Los insectos son sumamente importantes para la reproducción de muchas plantas, incluyendo gran parte de las plantas que cultivamos como alimentos, ya que son los encargados de realizar el proceso de polinización. Los polinizadores son los principales agentes que garantizan la reproducción sexual (producción de frutos y semillas) de una gran cantidad de plantas, mediante el transporte de polen entre flores de una misma especie vegetal. En la actualidad, los polinizadores se encuentran en una situación de declinación global como consecuencia de los cambios ambientales producidos por el hombre, con consecuencias negativas sobre la reproducción de las plantas que dependen de ellos. En ecosistemas con vegetación densa, el fuego genera una apertura de la misma produciendo condiciones de mayor luminosidad y menor competencia por nutrientes (más recursos para menos competidores). Así, es esperable que se produzca un incremento en la producción de flores inmediatamente después del fuego y por ende de alimento (néctar y polen) para los polinizadores (Figura 10). Recientes hallazgos en diferentes ecosistemas del mundo han demostrado que ambientes afectados por un único incendio, presentan comunidades con mayor riqueza y abundancia de polinizadores que en sitios no quemados. El incremento de los polinizadores es particularmente notorio durante los primeros 3 años después del incendio, luego del cual tiende a diluirse y ser similar a los niveles de los ambientes no quemados. Los polinizadores más beneficiados por el fuego en el corto plazo son los himenópteros (abejas, abejorros, avispas, etc.). Sin embargo, no cualquier régimen de fuego es beneficioso para los polinizadores, ya que cuando ocurren incendios forestales frecuentes tienden a ser perjudiciales, en especial para los lepidópteros (mariposas y polillas). Entonces, si bien algunos polinizadores pueden ser beneficiados tras un único evento de fuego,

la mayoría de ellos son perjudicados cuando los incendios son frecuentes. La alta recurrencia del fuego puede causar extinciones locales de animales o de plantas y transformar las comunidades vegetales en áreas pobres en refugio y alimento. En síntesis, los incendios forestales y su variabilidad en el tiempo y en el espacio son importantes en determinar la respuesta de los polinizadores a los cambios en el ambiente, así como también de las plantas y otros animales que dependen de ellos.

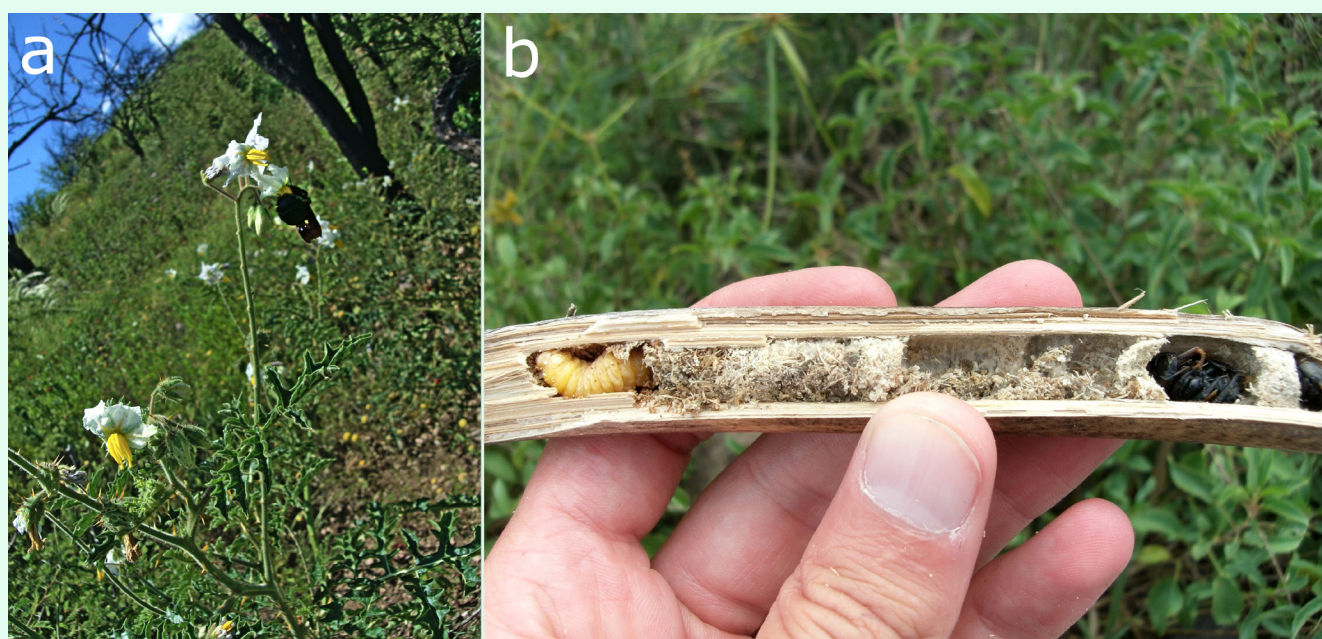


Figura 10: Abeja carpintera (*Xylocopa atamisquensis*) polinizando flores de espina colorada (*Solanum sisymbriifolium*, a) y anidando en tallo de caraguatá (*Eryngium horridum*, b) un año después del fuego en las Sierras Chicas de Córdoba.

¿Qué sucede con la vida que depende de las plantas y los cambios producidos por el fuego? Desenmarañando redes de interacciones en el Chaco Serrano

Julia Tavella

El fuego puede afectar de manera indirecta a los insectos mediante los cambios en la vegetación, debido a que se modifican las condiciones micro-climáticas a las que están expuestos y la disponibilidad de recursos como alimento o sitios de refugio. Para evaluar el efecto de los incendios forestales sobre la diversidad de artrópodos y la estructura de sus comunidades, estudiamos un complejo de especies conformado por plantas y distintos grupos de insectos: hormigas, hemípteros fitófagos (pulgones, cochinillas, chicharritas), y enemigos naturales de los fitófagos (micro-avispa parasitoides y predadores como coccinélidos y sírfidos).

En el Chaco Serrano, sitios que se incendiaron en 3 o 4 ocasiones en los últimos 25 años presentan una menor riqueza de plantas (número de especies) respecto de los sitios de bosque no quemados. En consecuencia, la riqueza de insectos fitófagos responde de manera negativa a este régimen de fuego y también a la menor riqueza de plantas. A pesar de esto, los cambios no se trasladan a lo largo

de las cadenas tróficas, no afectándose los enemigos naturales. Por otro lado, en los sitios que se queman frecuentemente, la composición (identidad) de las especies es distinta a la de los sitios no quemados, no solo en las comunidades de plantas y fitófagos, sino también de hormigas y predadores.

Las especies no se encuentran aisladas en la naturaleza, sino que se asocian unas con otras conformando complejas comunidades interactivas. Las redes de interacciones ecológicas son una herramienta que nos permite estudiar cómo se asocian las especies y conocer los cambios en la organización y estructura de las comunidades que conforman. Las redes que incluyen asociaciones mutualistas (en que las dos especies se benefician) entre hormigas y fitófagos, y las que involucran interacciones antagonistas (en las que una especie se beneficia en detrimento de la otra) como herbivoría (planta-fitófago) y parasitoidismo (fitófago-parasitoide) son diferentes en sitios quemados y no quemados. Los cambios se dan en distintos aspectos de la estructura de las comunidades y del modo en que se asocian las especies, y son idiosincráticos a cada tipo de interacción (Figura 11). Entonces el fuego, principalmente a través de cambios en la vegetación, modifica la riqueza y composición de especies y la estructura de las comunidades relacionadas directa e indirectamente a las plantas a través de las cadenas tróficas. Estos resultados remarcan el rol ecológico del fuego como modelador de la biodiversidad y del ensamble de las comunidades de insectos en ecosistemas montañosos del centro de Argentina.

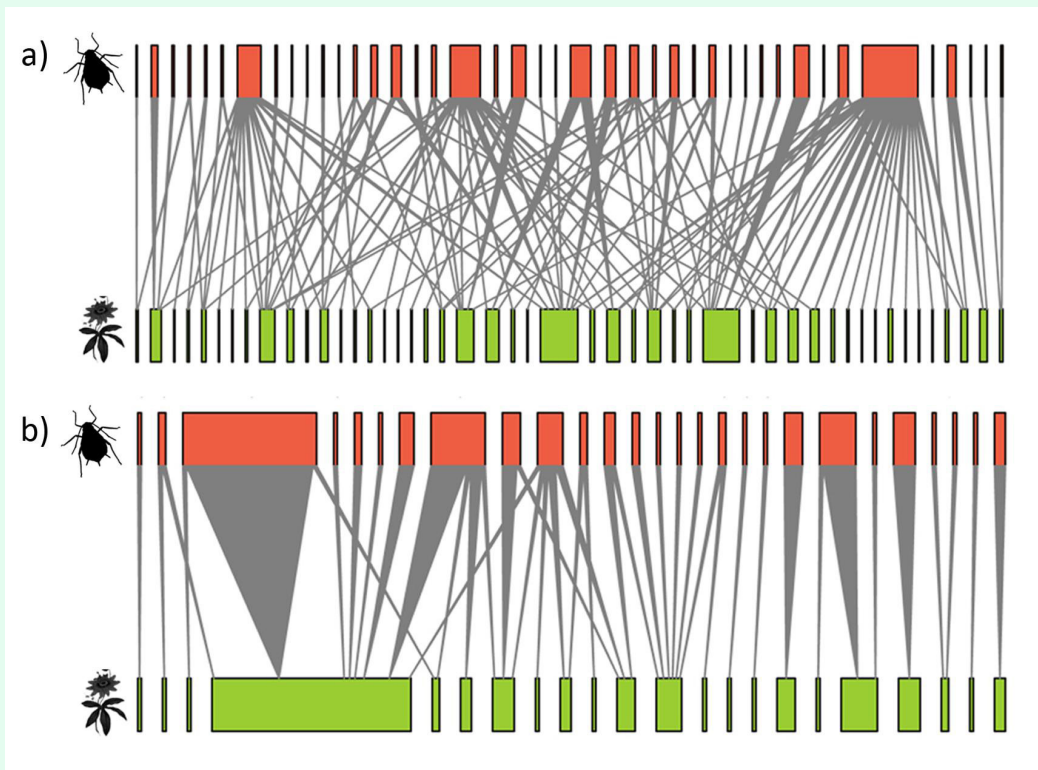


Figura 11: Redes de interacciones planta-fitófago representativas de un sitio no quemado (a) y uno quemado (b). En cada red, los rectángulos representan especies (en verde plantas y en rojo fitófagos) y las cuñas grises son las interacciones entre estas. En las redes de sitios quemados los fitófagos son menos generalistas y las especies interactúan formando subgrupos de especies que se asocian más entre ellas que con el resto de la red, al contrario de lo que vemos en la red de sitios no quemados. Íconos: thenounproject.com

Conclusiones finales

Todos conocemos los beneficios de la lluvia en la naturaleza, esencial para la vida. Sin embargo, cuando esta cae intensamente, en grandes cantidades o en forma de granizo, puede tornarse perjudicial para los ecosistemas y para la sociedad. De la misma manera, el fuego es un proceso ecológico que puede generar biodiversidad (por ejemplo de flores y polinizadores), aunque no todos los incendios y no todos los regímenes de fuego tendrán necesariamente beneficios para cualquier organismo, interacción biótica, ecosistema y para la gente. En tal sentido, en un país tan extenso y con gran diversidad de ambientes como la Argentina, entender el modo en que los ecosistemas responden a los incendios debe ser abordado desde una perspectiva amplia y en un contexto interdisciplinario.

Estudiar el régimen de fuego de una región, y sus cambios en la actualidad, es clave para determinar las propiedades de los ecosistemas (como la calidad del suelo, la estructura de la vegetación y la capacidad para almacenar carbono, etc.), la dinámica de organismos y las complejas relaciones que estos establecen. Además, es necesario considerar otros factores como el uso ganadero y/o forestal, las invasiones de plantas exóticas y el cambio climático, que en combinación con los efectos del fuego pueden afectar al hábitat. Los ecosistemas argentinos sujetos a regímenes de fuego sostenibles ecológicamente poseen la potencialidad de recuperarse y con el paso del tiempo (a veces decenas de años, como en los bosques patagónicos) volver a su condición anterior. Esto se debe a que muchas especies vegetales poseen estrategias para sobrevivir al fuego y regenerarse. Sin embargo, otras especies son sensibles y no rebrotan ni germinan luego del paso de las llamas. Los actuales regímenes de incendios están causando cambios en la composición, estructura e inflamabilidad de la vegetación en ambientes patagónicos y chaqueños, generando una matorralización de los bosques con menor valor biológico y beneficios para la sociedad. Además, los incendios en las sierras del centro del país, en conjunto con el pastoreo, son potentes controladores del almacenamiento de C en la vegetación y de las emisiones de gases de efecto invernadero, con las implicancias que esto tiene en el marco de la crisis climática global. Respecto al efecto en los organismos, mientras muchos polinizadores pueden ser atraídos a los sitios quemados por la mayor diversidad de flores (pero no a los excesivamente incendiados), los musgos, líquenes y hongos que establecen simbiosis con plantas (micorrizas) pueden ser sensiblemente afectados por el fuego. En estos casos, los ecosistemas están transitando una silenciosa e invisible pérdida de biodiversidad, a pesar de la regeneración de la vegetación por la que normalmente medimos los niveles de recuperación de un ambiente. Todos estos cambios, inducidos por el fuego en el hábitat, tienen efectos a lo largo de las cadenas tróficas, desde insectos asociados directamente a las plantas hasta animales minúsculos de niveles tróficos superiores como predadores y parasitoides, afectando las complejas interacciones

que estos establecen con otros organismos y posiblemente los beneficios que estos brindan a la sociedad, que aún permanecen sin ser estimados.

La demanda actual de la sociedad hacia la ecología del fuego está aumentando. Para abordarla, debemos comprender la respuesta de los ecosistemas y sus organismos a los cambios en los regímenes de incendios en tiempo real, teniendo una visión integradora basada en evidencias científicas. Conociendo nuestros ambientes naturales, podremos mitigar los efectos negativos que nuestra propia existencia genera al modificar el ciclo natural o histórico del fuego y planificar acciones para prevenir y restaurar las áreas degradadas. La premisa básica de estas acciones es conocer a nuestros ecosistemas, sus componentes y su capacidad de respuesta. Este trabajo invita a generar colectivamente nuevas preguntas a abordar, con el objetivo de conservar la biodiversidad de los ecosistemas argentinos, promover su sostenibilidad y así tener una mejor calidad de vida.

BIBLIOGRAFÍA SUGERIDA:

BOND, W. J. & J. E. KEELEY. 2005. Fire as a global 'herbivore': the ecology and evolution of flammable ecosystems. *Trends Ecol. Evol.* 20: 387-394.

BLACKHALL, M., E. RAFFAELE, J. PARITSIS, F. TIRIBELLI, J. M. MORALES, T. KITZBERGER, J. H. GOWDA & T. T. VEBLEN. 2017. Effects of biological legacies and herbivory on fuels and flammability traits: A long term experimental study of alternative stable states. *J. Ecol.* 105: 1309-1322.

CARBONE L. M., J. TAVELLA, J. G. PAUSAS & R. AGUILAR. 2019. A global synthesis of fire effects on pollinators. *Global Ecol. Biogeogr.* 28: 1487-1498.

GIACHÉ, Y. S. & M. M. BIANCHI. 2018. 13000 years of forest history in the río Manso Inferior valley, Northern Patagonia. Fire-vegetation-humans links. *J. Archaeol. Sci.* 18: 769 -774.

JAUREGUIBERRY, P. 2012. *Caracteres funcionales, flamabilidad y respuesta al fuego de especies vegetales dominantes en distintas situaciones de uso de la tierra en el centro-oeste de Argentina*. Tesis Doctoral. FCE-FyN, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. 203 p.

KEELEY, J. E., J. G. PAUSAS, P.W. RUNDEL, W. J. BOND & R.A. BRADSTOCK. 2011. Fire as an evolutionary pressure shaping plant traits. *Trends Plant Sci.* 16:406-411.

MARCORA P.I., A. E. FERRERAS, S. R. ZEBALLOS, G. FUNES, S. LONGO, C. URCELAY & P. A. TECCO. 2018. Context dependent effects of fire and browsing on woody alien invasion in mountain ecosystems. *Oecologia* 188: 479-490.

NAVAL FERNÁNDEZ, M. C. 2019. *Efecto del fuego y el pastoreo sobre el reservorio de carbono de pastizales del Parque y Reserva Nacional Quebrada del Condorito en Córdoba, Argentina*. Tesis de Licenciatura, FCEfyN, UNC, Argentina.

PAUSAS, J.G. 2012. *¿Qué sabemos de Incendios Forestales?* Editorial Catarata. CSIC. España.

PAUSAS, J.G. & J. E. KEELEY. 2019. Wildfires misunderstood. *Front. Ecol. Environ.* 17: 430-431.

PERAZZO, A. & J. M. RODRIGUEZ. 2019. Impacto del fuego sobre la vegetación no vascular del suelo: un estudio de caso en los bosques de *Polylepis australis* (Rosaceae) del centro de Argentina. *Lilloa* 56: 67-80.

RODRIGUEZ, J. M., C. ESTRABOU, R. FENOGLIO, F. ROBIATI, C. SALAS & G. QUIROGA. 2009. Recuperación post-fuego de la comunidad de líquenes epifitos en la provincia de Córdoba, Argentina. *Acta Bot. Bras.* 23: 854-859.

SANTACRUZ-GARCÍA, A. C., S. BRAVO, F. DEL CORRO & F. OJEDA. 2019. A comparative assessment of plant flammability through a functional approach: The case of woody species from Argentine Chaco region. *Austral Ecol.* 44: 1416-1429.

SOTTILE, G. D., Y. S. GIACHÉ & M. M. BIANCHI. 2018. Reconstrucción del régimen de incendios en ecosistemas templados patagónicos sobre la base de registros de carbón vegetal sedimentario (Charcoal) y polen durante el Cuaternario tardío. Tendencias metodológicas, resultados y perspectivas. En: Prieto, A. R. (ed.), *Metodologías y estrategias del análisis palinológico del Cuaternario tardío*. Publicación Electrónica de la Asociación Paleontológica Argentina 18: 102 -119.

TAVELLA, J. 2018. *Disturbios ambientales como moduladores de la estructura espacial y topología de redes de interacciones mirmecófilas*. Tesis doctoral. Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.

WHELAN, R. J. 1995. *The ecology of fire*. Cambridge University Press. UK.