



Servicio Forestal
DEPARTAMENTO DE AGRICULTURA DE EE.UU.

Estación de Investigación de Rocky Mountain

Ciencia útil

2024



Conceptos básicos sobre el humo

Una frase que se escucha a menudo, “no hay futuro sin humo”, describe el fuego, y el humo asociado, como un proceso ecológico indisolublemente ligado a los bosques del Oeste. Si bien el fuego puede proporcionar muchos beneficios, como la reducción de combustibles y la renovación de los bosques, el humo de los incendios plantea un grave desafío para la salud pública, los administradores de tierras y los reguladores de la calidad del aire. Entonces, ¿podemos reducir estos desafíos?

El [seminario web State of the Science: Smoke Webinar](#) (Estado de la ciencia: seminario web sobre el humo) se llevó a cabo en noviembre de 2023. Allí, un panel de expertos en humo abordó preguntas los administradores de tierras relacionadas con el humo. La pregunta más común fue: “¿Qué sabemos sobre las diferencias entre las quemaduras prescritas y los incendios forestales?” La respuesta: Si bien el humo de los incendios forestales y las quemaduras prescritas varía mucho en composición e intensidad, así como en los patrones de movimiento, en general los incendios forestales producen más humo que las quemaduras prescritas. A continuación, mencionamos preguntas adicionales y sus respuestas:

¿Qué es el humo?

El humo es un subproducto de la vegetación viva y muerta y del suelo orgánico, denominados colectivamente combustibles, consumidos por el fuego. Está compuesto por cientos de gases y partículas de diversos tamaños, composiciones y propiedades ópticas. La composición del humo es la combinación de gases y partículas y se describe mediante factores de emisión. Los factores de emisión de humo cuantifican la producción de contaminantes procedentes de la combustión de combustibles forestales. Por cada tonelada de combustible consumida por el fuego, los factores de

Y las diferencias entre el humo de los incendios forestales y de las quemaduras prescritas en el Oeste de los EE. UU.



Forest Service Rocky Mountain Research Station

Foto del Servicio Forestal
del USDA



Bureau of Land Management photo
by Hannah Branz

emisión describen libras de partículas finas (PM) y otros contaminantes del aire producidos. La exposición, tanto a corto como a largo plazo a $PM_{2.5}$, es decir, partículas con un diámetro inferior a 2.5 micrones, puede tener efectos nocivos para la salud (U.S. EPA 2023). Las emisiones de humo, a diferencia de la composición, se refieren a dónde, cuándo y qué cantidad de diversos contaminantes se producen en los incendios forestales, como la cantidad de PM que se produce en un incendio determinado durante un período de tiempo. Las emisiones de un contaminante específico se calculan mediante factores de emisión y consumo de combustible. Es importante destacar que se queman diferentes cantidades de capas de combustible (es decir, hojarasca, sotobosque, dosel) dependiendo de las condiciones del incendio, lo que se traduce en diferentes combinaciones de factores de emisión. Los impactos del humo se refieren a la concentración de $PM_{2.5}$ (u otros contaminantes) que se producen en la línea de fuego, en una comunidad o en un lugar alejado del incendio forestal. La dispersión del humo es el proceso mediante el cual la atmósfera mezcla y transporta partículas y otros contaminantes. A veces el humo se eleva y se dispersa más alto en la atmósfera durante el calor del día. En terreno montañoso, el humo a menudo se deposita en zonas bajas con una inversión nocturna (una parte de la atmósfera en la que la temperatura aumenta con la altitud, lo que inhibe la mezcla vertical del aire cerca de la superficie). El humo no es estático; se añeja con el tiempo y genera diferentes químicos e impactos donde lo lleva el viento.

¿Qué sabemos sobre las diferencias entre el humo de las quemas prescritas y el de los incendios forestales?

Es difícil hacer generalizaciones acerca de las diferencias entre el humo de los incendios forestales y el de las quemas prescritas. Ambos ocurren en un espectro de intensidades y condiciones de fuego. El humo varía según la temporada de quema, la intensidad de la quema, las condiciones del combustible y las condiciones climáticas, por nombrar algunos factores. No todas las quemas prescritas son incendios de baja intensidad y no todos los incendios forestales son incendios de alta intensidad. Algunos ecosistemas requieren que los incendios de sustitución de árboles sean ecológicamente significativos y, en tal caso, puede haber poca diferencia entre una quema prescrita y un incendio forestal. En ecosistemas que frecuentemente se queman a baja intensidad, un incendio forestal o una quema prescrita en ese sistema probablemente también sea de menor intensidad.

La diferencia clave entre los incendios forestales y las quemas prescritas es que las quemas prescritas se planifican con antelación. Los administradores tienen margen de decisión para iniciar una quema prescrita o esperar condiciones más favorables para disminuir los impactos del humo. A nivel regional, numerosos grupos que participan en quemas prescritas pueden interactuar y ajustar las emisiones de

humos acumuladas y sus impactos. Sin embargo, durante un incendio forestal, es poco lo que se puede hacer con respecto a las condiciones del humo ambiental, ya que un incendio forestal simplemente existe en el espacio aéreo compartido.

¿Cómo reduce la planificación de quemas prescritas los impactos del humo?

La quema prescrita es una actividad que se diseña de antemano para lograr las condiciones deseadas en el campo, como mejorar el hábitat de la vida silvestre o reducir los combustibles. Si bien los resultados ecológicos asociados con un incendio forestal o una quema prescrita pueden ser bastante similares, la diferencia fundamental entre los dos es la decisión de utilizar el fuego como una herramienta. Antes de una quema prescrita, las condiciones deben ser aceptables desde una perspectiva de seguridad y capaces de respaldar los resultados deseados. Se elabora y aprueba una prescripción de quema que considera el movimiento del humo, el clima, las condiciones del combustible y otros factores necesarios para cumplir con los objetivos de recursos. Un plan de gestión del humo es un componente esencial de un plan adecuado de quema prescrita. Las prescripciones están diseñadas para minimizar los efectos adversos para las personas, las comunidades y las cuencas atmosféricas. También tienen como fin garantizar que los resultados de la quema produzcan los efectos deseados, incluida la reducción de combustibles, la mejora del hábitat de la vida silvestre y el abordaje de otros objetivos de recursos. La planificación de quemas prescritas depende en gran medida de modelos basados en la ciencia que permiten tener en cuenta múltiples situaciones y alternativas.

Las quemas prescritas son actividades planificadas y gestionadas y hay que tomar decisiones fundamentales, incluido cuándo y si se llevará a cabo una quema prescrita. Por ejemplo, si una quema prescrita se lleva a cabo más tarde en el día, ¿podrían los vientos ser más favorables y tener menos probabilidades de llevar humo a una comunidad? Al considerar situaciones y modelar las condiciones asociadas con la quema prescrita planificada, se pueden comprender y tomar decisiones para disminuir los impactos en las comunidades y al mismo tiempo lograr los objetivos de recursos deseados.

En general, ¿los incendios forestales producen más humo que las quemas prescritas?

Existe un gran conocimiento en esta área de estudio, en general los incendios forestales producen más humo que las quemas prescritas. Las condiciones bajo las cuales ocurre un incendio afectan la partición del carbono del combustible entre dióxido de carbono (CO_2), que es el producto de la combustión completa y la combustión incompleta que produce monóxido de carbono (CO), $\text{PM}_{2.5}$ y otros contaminantes que



Foto del Servicio Forestal del USDA

contienen carbono. En general, las condiciones de los incendios forestales tienden a favorecer un proceso de combustión menos completo. Debido a esto, los factores de emisión de humo, incluidas las $PM_{2.5}$, CO y contaminantes preocupantes (como el formaldehído y el benceno), en general son mayores en los incendios forestales que en las quemas prescritas. En los bosques del Oeste, por cada tonelada de combustible consumida, los incendios forestales producen aproximadamente el doble de $PM_{2.5}$ que las quemas prescritas en ecosistemas comparables. Además de tener mayores factores de emisión de contaminantes, los incendios forestales consumen más combustible por acre quemado en comparación con las quemas prescritas. Debido a la combinación de un mayor consumo de combustible y mayores factores de emisión, los incendios forestales producen mayores cantidades de contaminantes que las quemas prescritas por acre quemado.

Las estimaciones de las emisiones contaminantes a nivel nacional provenientes de quemas prescritas tienen grandes incertidumbres ya que no existe un sistema consolidado para registrar la actividad de quemas prescritas en todo Estados Unidos. Sin embargo, según los datos sobre la actividad de quemas prescritas recopilados por agencias federales y estatales, se sabe que, en el Oeste, las quemas prescritas producen solo alrededor de una décima parte de las $PM_{2.5}$ emitidas por los incendios forestales. Por ejemplo, el Inventario Nacional de Emisiones de la Agencia de Protección Ambiental (Environmental Protection Agency, EPA) de los EE. UU. estimó que, en el Oeste en 2017, las emisiones de $PM_{2.5}$ en los incendios forestales fueron de alrededor de 1,111,000 toneladas, en comparación con las 94,000 toneladas de las quemas prescritas (US EPA 2017).

En el informe Evaluación comparativa de los impactos de las quemas prescritas frente a los incendios forestales (Comparative Assessment of the Impacts of Prescribed Fire Versus Wildfire, CAIF) se ofrece un ejemplo específico de cómo los tratamientos de quemas prescritas podrían reducir los impactos de un incendio forestal en la calidad del aire. El CAIF utilizó estudios de casos para estimar el impacto potencial que los tratamientos de quemas



Foto del Servicio Forestal del USDA
por Andrew Avitt



prescritas pueden haber tenido en las emisiones de contaminantes y la calidad del aire de dos incendios forestales. El estudio descubrió que, en el incendio forestal más grande considerado, el Rough Fire, los tratamientos planificados de quemas prescritas podrían haber reducido las emisiones de $PM_{2.5}$ en un 20 % y haber provocado una reducción aproximada del 40 % en las visitas adicionales a los departamentos de emergencia y admisiones hospitalarias relacionadas con enfermedades respiratorias y cardiovasculares, y muertes prematuras. El incendio Rough Fire se produjo en California del 31 de julio al 1.º de octubre de 2015 y quemó aproximadamente 150,000 acres.

Además del CAIF, un estudio reciente concluyó que el aumento de las quemas prescritas en el norte de California y el noroeste del Pacífico podría proporcionar grandes beneficios para gran parte del Oeste de los Estados Unidos al reducir el humo de incendios forestales en el futuro. (Kelp et al. 2023).

¿Qué sucede con la quema en pilas y el humo?

Las pilas de tala que resultan del aclareo y otras actividades de manejo forestal se queman cuando las condiciones son favorables para la contención del fuego (como cuando hay nieve en el suelo) y la dispersión del humo, tal como sucede con las quemas prescritas. La construcción y los componentes de las pilas afectan el humo que se genera al quemarlas. Por ejemplo, la inclusión de tierra o material húmedo cambia la forma en que se queman las pilas. Un estudio descubrió que las pilas de tala seca emiten solo alrededor de una cuarta parte de las $PM_{2.5}$ que producen las pilas húmedas. Una pila construida con materiales más grandes en la parte inferior que se enciende desde arriba puede formar una cortina de aire que reduce la cantidad de humo que la pila produce (y puede producir biocarbón cuando las brasas se apagan antes de convertirse en cenizas).

¿Cómo es probable que los tratamientos de mantenimiento afecten la cantidad de humo?

Después de más de un siglo de prohibición de quemas en los bosques del Oeste, los incendios tienen más material para consumir que los que tenían



Foto del Servicio Forestal del USDA
por Andrew Avitt



Forest Service Rocky Mountain Research Station



Foto del Servicio Forestal del USDA
por Liz Younger

históricamente estos sistemas. A pesar de los proyectos de tala de bosques, la madera caída, los arbustos, el suelo orgánico y la basura son subproductos y combustibles naturales que aún pueden producir cantidades sustanciales de humo cuando se queman. Estos combustibles pueden consumirse en un incendio forestal o en una quema prescrita. Al no realizar quemas prescritas y suprimir los incendios naturales, estamos aplazando un futuro inevitable con humo.

Hay luz al final del camino cuando se trata de incendios y humo. Los incendios y el humo serán más manejables siempre que sigamos realizando quemas prescritas. Una vez que se realicen tratamientos y quemas de mantenimiento repetidos, el comportamiento del fuego y el humo se atenuarán. Las quemas de mantenimiento se refieren a una segunda o tercera quema o más en un lugar determinado. Estas quemas de mantenimiento quemarán madera fina, agujas y mantillo, lo que hará que la cantidad de humo disminuya.

¿Cómo pueden los modelos ayudarnos a comprender el humo?

Los científicos han estado trabajando para comprender cómo se comporta el humo modelando toda la cadena de eventos de un incendio, desde el consumo de combustible y las emisiones hasta la formación de columnas y el transporte atmosférico hasta los impactos en el suelo donde el viento lleva el humo. En los incendios forestales, la cantidad de combustible consumido y, por tanto, el humo emitido, y la ubicación y el momento de las emisiones suelen estar fuera del control de los equipos de manejo. Por lo tanto, los modelos de humo se basan en observaciones satelitales para predecir las emisiones de humo de los incendios forestales. Por el contrario, en el caso de las quemas prescritas, se dispone de más información sobre el comportamiento del fuego y el humo esperado debido a la planificación de la actividad. Según el terreno y el clima esperado, los manejadores de incendios generalmente saben qué combustible se quemará y con qué intensidad se espera que se queme. Este conocimiento proporciona información valiosa para los modelos de humo y permite a los manejadores de incendios comprender mejor las condiciones atmosféricas necesarias para dispersar el humo en la atmósfera y disminuir los impactos.

¿Qué debo saber sobre el humo y la salud pública?

El humo, ya sea procedente de incendios forestales o de quemas prescritas, es una grave amenaza para la salud humana. Las $PM_{2.5}$ son el principal contaminante perjudicial en el humo y constituyen un contaminante atmosférico regulado por la Ley federal de Aire Limpio. La gravedad de los efectos del humo en la salud depende tanto de la concentración como de la duración de la exposición. La exposición al humo (concentración y duración) en un área determinada está

relacionada con la cantidad de vegetación que se quema (toneladas por acre), dónde se producen los incendios, la dinámica de la columna de humo de los incendios y las condiciones atmosféricas que determinan la dispersión y el movimiento del humo. En situaciones de incendio forestal, son comunes períodos cortos con niveles de humo muy concentrados. En las quemas prescritas, estas concentraciones suelen ser mucho más bajas. En los últimos años, muchas comunidades del Oeste han experimentado veranos largos y llenos de humo, una experiencia mental traumática para muchos residentes, además de problemas de salud física.

La planificación de las quemas prescritas brinda oportunidades para reducir la exposición al humo de las personas y las comunidades. Antes de una quema prescrita se puede compartir información sobre las fechas previstas en las que habrá humo y las comunidades que probablemente se vean afectadas. Las actividades diarias se pueden ajustar según la presencia planificada de humo. Por ejemplo, es posible modificar el tiempo, la intensidad o el entorno para hacer ejercicio. Los espacios interiores se pueden adaptar a las condiciones de humo, lo que incluye cerrar ventanas y utilizar filtros de aire. Los científicos de la Agencia de Protección Ambiental de los EE. UU. y del Servicio Forestal del USDA elaboraron el [Mapa de incendios y humo AirNow](#) a fin de ayudar al público a comprender las condiciones de humo actuales y previstas.



Foto del Servicio Forestal del USDA
por Kari Greer

Más material de lectura

Amonette, James E.; Blanco-Canqui, Humberto; Hassebrook, Chuck; Laird, David A.; Lal, Rattan; Lehmann, Johannes; Page-Dumroese, Deborah. 2021. [Integrated biochar research: A roadmap](#). Journal of Soil and Water Conservation. 76(1): 24A–29A.

Aurell, J.; Gullett, B.K.; Tabor, D.; Yonker, N. 1994. [Emissions from prescribed burning of timber slash piles in Oregon](#). Atmospheric Environment. 2017 Feb.; 150: 395–406. Published online 2016 Nov. 12.

Burke, M.; Heft-Neal, S.; Li, J.; [et al.]. 2022. [Exposures and behavioural responses to wildfire smoke](#). Nature Human Behaviour. 6: 1351–1361.

Kelp, M.M.; Carroll, M.C.; Liu, T.; Yantosca, R.M.; Hockenberry, H.E.; Mickley, L.J. 2023. [Prescribed burns as a tool to mitigate future wildfire smoke exposure: Lessons for states and rural environmental justice communities](#). Earth's Future. 11: e2022EF003468.

National Wildfire Coordinating Group (2020). [NWCG Smoke Management Guide for Prescribed Fire](#). National Wildfire Coordinating Group, Boise, Idaho. PMS 420-3.

Peterson, David L.; McCaffrey, Sarah M.; Patel-Weynand, Toral, eds. 2022. [Wildland fire smoke in the United States: A scientific assessment](#). Cham, Switzerland: Springer Nature Switzerland AG. 341 p.

Science You Can Use Bulletin: [Know your smoke: Updated smoke modeling tool estimates higher particulate emissions from wildfire than previously predicted](#). November 2020. Fort Collins, CO: USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station.

Science You Can Use (in 5 Minutes): [Smoke: How new emissions data could enable more prescribed fire](#). August 2023. Fort Collins, CO: USDA Forest, Rocky Mountain Research Station.

[State of the Science: SMOKE Webinar](#). 2023. Presenters: S. Goodrick, S. O'Neill, S. Prichard, A. Rappold and S. Urbanski. USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station.

United States Environmental Protection Agency. 2017. 2017 [National Emissions Inventory \(NEI\) data](#). [Accessed 12/18/2023].

United States Environmental Protection Agency [U.S. EPA]. 2021. [Comparative Assessment of the Impacts of Prescribed Fire Versus Wildfire \(CAIF\): A case study in the western U.S.](#) EPA/600/R-21/197. Washington, DC: U.S. Environmental Protection Agency.

United States Environmental Protection Agency [U.S. EPA]. 2023. [Health and environmental effects of particulate matter \(PM\)](#).

Este artículo fue escrito por Nehalem Clark, Shawn Urbanski y Scott Goodrich, todos ellos pertenecientes al área de Investigación y Desarrollo del Servicio Forestal del USDA, y se basa en documentos revisados por pares e información compartida durante el seminario web State of the Science: SMOKE Webinar.

El USDA es un proveedor, empleador y prestamista que ofrece igualdad de oportunidades

Foto del Servicio Forestal del USDA

