

La Quinta Evaluación Nacional del Clima

Enfoque en los incendios forestales del Occidente



F2. Enfoque en los incendios forestales del Occidente

Autores y colaboradores

Autor principal de coordinación federal

Allison R. Crimmins, US Global Change Research Program

Autor principal del capítulo

Steven M. Ostoja, USDA Agricultural Research Service, California Climate Hub

Contribuyentes técnicos

Robert G. Byron, Montana Health Professionals for a Healthy Climate

Amy E. East, US Geological Survey

Michael Méndez, University of California, Irvine

Susan M. O'Neill, USDA Forest Service, Pacific Northwest Research Station

David L. Peterson, USDA Forest Service, Pacific Northwest Research Station

Jeffrey R. Pierce, Colorado State University

Crystal Raymond, University of Washington, Climate Impacts Group

Aradhna Tripathi, University of California, Los Angeles

Ambarish Vaidyanathan, Centers for Disease Control and Prevention

Editor revisor

Ellen M. Considine, Harvard T.H. Chan School of Public Health, Department of Biostatistics

Arte de apertura de capítulo

David Zeiset

Cita recomendada

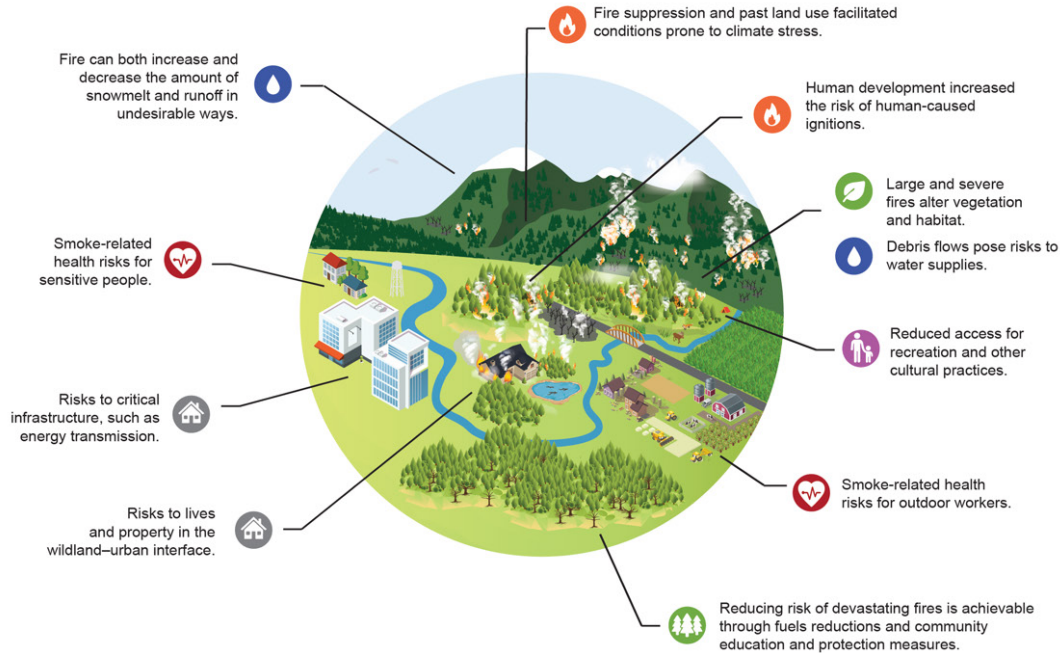
Ostoja, S.M., A.R. Crimmins, R.G. Byron, A.E. East, M. Méndez, S.M. O'Neill, D.L. Peterson, J.R. Pierce, C. Raymond, A. Tripathi, and A. Vaidyanathan, 2023: Enfoque en los incendios forestales del Occidente. En: *La Quinta Evaluación Nacional del Clima*. Crimmins, A.R., C.W. Avery, D.R. Easterling, K.E. Kunkel, B.C. Stewart, and T.K. Maycock, Eds. U.S. Global Change Research Program, Washington, DC, USA. <https://doi.org/10.7930/NCA5.2023.F2.ES>

Enfoque en los incendios forestales del Occidente

El cambio climático está provocando incendios forestales más grandes y severos en el occidente de Estados Unidos, con impactos agudos y crónicos tanto cerca como lejos de las llamas. Estos incendios tienen importantes implicaciones socioeconómicas, ecológicas y de salud pública para el país.

El fuego es un proceso ecosistémico crítico en todo el occidente de los EE. UU. En décadas recientes, los incendios forestales en el occidente de Estados Unidos se han hecho más grandes, calientes, destructivos y mortíferos debido a una serie de factores, entre ellos el cambio climático. Antes de la política federal de supresión de incendios forestales, los incendios naturales y las quemadas indígenas garantizaron que los paisajes se beneficiaran de fuegos regulares durante milenios (KM 28.5)¹. Las prácticas de uso de la tierra del siglo XIX y principios del XX, seguidas de una política de eliminación de incendios, provocaron la acumulación de combustible vegetal en los bosques occidentales de baja altitud adaptados al fuego, y el pastoreo de ganado fomentó el predominio de gramíneas anuales altamente inflamables en los pastizales (KM 2.2, 7.1, 28.5)^{2,3,4}. El desarrollo de los últimos 50 años ha ampliado enormemente la interfaz urbano-silvestre (KM 12.2, 28.5)⁵ y ha aumentado las igniciones provocadas por la actividad humana, lo que pone en peligro a las personas, propiedades e infraestructuras^{6,7}. En los años recientes, el cambio climático ha contribuido a que se produzcan incendios de gran magnitud y severidad. Aunque los incendios de severidad baja y moderada con pequeños parches de severidad alta pueden tener importantes beneficios ecológicos (Capítulos 7, 28), los grandes incendios de alta severidad suelen tener consecuencias ecológicas, sociales y económicas profundamente negativas a largo plazo (Figura F2.1; KM 28.4)^{8,9}.

Impactos de los incendios forestales



Wildfire: Causes and drivers

Warming, shifts in precipitation, and a drier near-surface atmosphere are increasing the frequency of large fires and the area burned (KMs 2.2, 7.1).

Fire exclusion and past management in dry forests have increased climatic stress and fire risk (KM 28.5).



Risks: Water

Particulates from wildfires reduce the albedo of snow and can accelerate snowmelt, influencing water retention and runoff (KM 28.5).

Burned areas are a debris-flow risk and threaten water supplies through erosion and particulates from smoke (KM 3.4).



Risks: Society and culture

Burned areas reduce access for recreation and other cultural uses (KMs 16.1, 28.5).

Wildfire generates substantial economic impacts, from whole sectors to individuals (KM 19.1).



Risks: Ecosystems

Large burned areas, especially with high fire severity, can promote vegetation and habitat changes (KMs 6.1, 7.2, 8.1, 8.2).



Risks: Built environment

Risks to critical infrastructure, energy, and water storage (KM 6.1).

Risks to personal safety and property and higher insurance costs for people living in the wildland-urban interface (KM 5.1).



Risks: Health

Smoke can be transported thousands of miles; airborne particulate matter creates health risks, especially for those with existing health conditions, older adults, and children (KMs 14.2, 15.1, 28.4).

Smoke and long periods of degraded air quality create health risks for outdoor workers and firefighters (KM 28.4) and disproportionately affect vulnerable populations (KM 27.5).



Opportunities: Management and adaptation

Adaptation of management strategies that create, maintain, and restore resilient forest ecosystems are critical to maintaining equitable provisioning of ecosystem services (KMs 7.3, 28.5, 31.1).

El cambio climático ha aumentado la superficie quemada y la severidad de los incendios forestales, así como sus impactos en el medioambiente, la salud humana y la sociedad.

Figura F2.1. Los indicadores y los riesgos ilustran las causas, los impactos y las soluciones a los incendios forestales en una serie de contextos socioecológicos dentro y fuera de los estados occidentales. Tenerlas en cuenta ayuda a comprender mejor cómo se experimentan los impactos y cómo adaptarse. Créditos de la figura: USDA ARS, USDA Forest Service, University of Washington, y Montana Health Professionals for a Healthy Climate.

El cambio climático ha producido condiciones más cálidas y secas con sequías prolongadas que estresan la vegetación forestal, facilitando los brotes de plagas y la muerte de árboles, lo que conduce a la acumulación de combustible superficial^{10,11}. Los incendios forestales se están moviendo en elevación debido al aumento de las temperaturas, la reducción de las acumulaciones de nieve y de las precipitaciones de verano y las condiciones generales más secas (KM 2.2, 3.5, 7.1, 28.5). El cambio climático también ha aumentado el déficit de presión de vapor que seca los combustibles, alterando el comportamiento del fuego que ocasiona incendios grandes, más calientes y más severos (KM 7.1, 28.5)^{12,13,14,15}. En consecuencia, la superficie anual quemada y la superficie quemada por incendios forestales de alta severidad se han octuplicado en el Oeste desde 1985 (Capítulo 7)^{14,16}. Y aunque la superficie anual quemada está al mismo nivel que antes de la colonización europea, los incendios forestales de gran magnitud, alta severidad y mortíferos y destructivos tienen importantes impactos socioecológicos y económicos. Se prevé que estas tendencias continúen al menos hasta mediados de siglo, cuando se espera que la disponibilidad de combustible sea más limitada en algunos bosques occidentales (KM 3.5, 28.5)¹⁷.

En algunas regiones no boscosas, principalmente matorrales áridos y estepas, los cambios en la frecuencia y la extensión de los incendios forestales están siendo impulsados principalmente por gramíneas anuales invasoras que se han beneficiado del cambio climático^{2,18}. Los pastizales esteparios del Oeste Intermontano se encuentran entre los ecosistemas más amenazados de los EE. UU. debido al uso de la tierra y a los incendios forestales, que se han hecho más grandes y frecuentes¹⁹. En la sabana de robles y los matorrales chaparrales, el aumento histórico de los incendios está relacionado con los cambios en las igniciones humanas y el uso de la tierra^{7,20}.

Se prevé que un mayor aumento de la superficie quemada y de la severidad de los incendios forestales altere la distribución y abundancia de plantas y animales y provoque la pérdida de biodiversidad (KM 7.1). En algunos casos, las zonas boscosas que experimentaron repetidos rebrotes de incendios severos han pasado a ser matorrales u otros tipos de vegetación^{21,22,23}. En la actualidad, aproximadamente el 75 % de la conversión del tipo de vegetación en el Suroeste se debe a incendios de gran severidad²⁴. El calentamiento continuo, la reducción de las precipitaciones en algunas zonas y la mayor frecuencia de incendios en ecosistemas forestales y no forestales pueden facilitar el establecimiento de especies invasoras, aumentar la flamabilidad de combustibles, reducir la regeneración de los árboles tras los incendios forestales^{18,25,26} y alterar los tipos de vegetación (KM 7.5, 28.5)²⁷. Las reducciones potenciales de la cubierta forestal y arbustiva debido a los cambios climáticos y a los incendios forestales reducen el potencial de algunos bosques y pastizales esteparios occidentales para funcionar como sumideros de carbono (KM 7.2).

Aunque los regímenes de incendios restaurados pueden beneficiar la hidrología forestal en algunos casos²⁸, los incendios forestales pueden poner en riesgo infraestructuras críticas al alterar las condiciones del suelo y la escorrentía del agua (KM 6.1). Después de un incendio, las lluvias intensas sobre suelos que repelen el agua pueden provocar flujos de escombros, que causan muertes humanas, daños materiales y costosos cierres de carreteras (KM 6.1)²⁹. La escorrentía de productos químicos puede contaminar los suministros de agua, y el exceso de escorrentía de sedimentos puede reducir la capacidad de almacenamiento de los embalses^{30,31,32}. El hollín procedente de las emisiones de los incendios también oscurece la superficie de la nieve y el hielo, lo que altera la retención de nieve y el deshielo de formas potencialmente indeseables^{33,34}.

Las infraestructuras humanas también pueden afectar el riesgo de incendios forestales. Aunque infrecuentes, los incendios provocados por líneas de transmisión eléctrica han sido grandes y mortales. El incendio Camp Fire de 2018 casi destruye toda la ciudad de Paradise, California, desplazando a decenas de miles de residentes³⁵, muchos de los cuales no han regresado. Para reducir este tipo de igniciones, se recurre a la desconexión de la red eléctrica cuando hace viento³⁶. Sin embargo, este enfoque puede alterar las economías locales (p. ej., la agricultura y la atención médica) y los medios de subsistencia, con un impacto desproporcionadamente alto en las comunidades rurales y sobrecargadas³⁷.

El humo de los incendios forestales puede ser transportado miles de millas y causar importantes impactos ambientales, de salud pública y socioeconómicos en todo el país (KM 14.1, 19.1, 25.1)^{38,39}. El humo procedente de la quema de vegetación y estructuras construidas contiene partículas finas (PM_{2.5}), precursores del ozono y otros componentes tóxicos (KM 14.2)⁴⁰. Aunque el nivel promedio anual de PM_{2.5} ha disminuido en las décadas recientes debido a las políticas de calidad del aire, la frecuencia y la severidad de los eventos de humo en el oeste de los EE. UU. hacen que los incendios forestales sean el mayor contribuyente a las PM_{2.5} en esta región, lo que contrarresta algunas de esas mejoras (KM 14.1). La exposición al humo de los incendios forestales se asocia a consecuencias cardiovasculares y respiratorias adversas (KM 15.1), así como a un mayor riesgo de mortalidad por COVID-19 (Enfoque en el COVID-19 y el cambio climático)^{41,42}. El humo de los incendios forestales también puede afectar la salud humana neonatal, como un menor peso al nacer o la pérdida del embarazo^{43,44}.

Se espera que los cambios proyectados en los incendios forestales supongan una importante carga para la salud, especialmente para las poblaciones de riesgo⁴⁵. La susceptibilidad a la exposición al humo de los incendios forestales puede verse exacerbada por la edad, las condiciones de salud preexistentes, el estatus socioeconómico, la ocupación y el estado de la vivienda (p. ej., las personas sin vivienda experimentan una exposición constante). Los bomberos forestales corren un mayor riesgo de mortalidad por cáncer de pulmón y enfermedades cardiovasculares⁴⁶. Cuando los incendios forestales coinciden con las temporadas de cosecha, los trabajadores agrícolas y otros trabajadores al aire libre (con frecuencia trabajadores con bajos ingresos de comunidades inmigrantes e indígenas) están en situación de riesgo (KM 14.2, 15.2, 16.1, 27.1, 28.4).

Aumentar la resiliencia de los ecosistemas y proteger a las comunidades de los incendios forestales es posible mediante inversiones, tanto en los ecosistemas como en los sistemas sociales (KM 28.5). Las acciones proactivas incluyen la colocación estratégica de tratamientos del combustible forestal en lugares de alto riesgo de incendio y la aceleración del manejo de la vegetación, incluido el uso del fuego a escalas espaciales ecológicamente significativas. Estas acciones suelen requerir la reducción del combustible de superficie y de escalera, mediante la quema controlada o la eliminación mecánica⁴⁷ y permitir que los incendios forestales de baja intensidad ardan en lugares estratégicos (KM 7.3, 28.5). En los ecosistemas adaptados al fuego, los incendios forestales de severidad baja y moderada reducen los árboles más pequeños, los arbustos y los combustibles muertos, lo que mantiene los bosques con menos árboles y más espaciados (KM 7.3, 28.5) y aumenta la resiliencia a futuros impactos climáticos. Los esfuerzos de rehabilitación de las zonas quemadas pueden reducir la escorrentía de sedimentos y proteger el suministro de agua y las infraestructuras hidroeléctricas (KM 5.1, 7.1).

Los esfuerzos para reducir estratégicamente el número de igniciones provocadas por la actividad humana y las inversiones en el reforzamiento de las viviendas son medidas de adaptación importantes en algunas zonas^{7,20}. Las estructuras de protección contra incendios y otros esfuerzos de diseño y construcción pueden reducir la probabilidad de ignición de las estructuras, lo que disminuye el riesgo de incendios forestales para las comunidades⁴⁸. Las prácticas de planificación del territorio y de la comunidad —incluidas la zonificación, las ordenanzas y los códigos de construcción— influyen en los riesgos de incendio forestal para las viviendas en regiones propensas a los incendios forestales⁴⁹. Otras medidas para proteger a las comunidades incluyen mejoras en el acceso y la usabilidad de los datos, la planificación de la respuesta de emergencia, la preparación de los sistemas de salud y alerta temprana para la evacuación y la comunicación oportuna de los impactos de salud al público, especialmente para las poblaciones de riesgo y los trabajadores al aire libre (KM 14.1, 19.3).

Cuentas trazables

Descripción de la base de evidencia y brechas en la investigación

En este recuadro se examinan las tendencias observadas y proyectadas de los incendios forestales en el oeste de Norteamérica y sus impactos a escala nacional^{3,38,50}. Esto incluye investigaciones que han utilizado datos obtenidos por teledetección y modelos, junto con datos experimentales y de observación sobre el terreno, para demostrar que la influencia del cambio climático en los incendios forestales actuales y futuros se debe al calentamiento de las temperaturas, que ha reducido el contenido de humedad de los combustibles y los ha hecho más inflamables^{11,12,14,22}. Las investigaciones demuestran que aproximadamente la mitad del aumento de la superficie quemada se debe al aumento de la inflamabilidad de los combustibles como consecuencia del cambio climático antropogénico (KM 3.5, 7.1)¹². El calentamiento, la disminución de la humedad y la desecación atmosférica (es decir, el aumento del déficit de presión de vapor) han facilitado el aumento de la frecuencia de las condiciones meteorológicas propicias para el fuego, así como de la superficie anual quemada y de la proporción quemada de alta severidad por incendios forestales (KM 2.2)^{14,16}. También se han utilizado métodos similares para dilucidar los factores que influyen en la mezcla de contaminantes del humo de los incendios forestales y sus efectos en la salud humana^{38,39,42}.

Existe evidencia sólida y cada vez más numerosa de que reducir los combustibles forestales y la densidad de árboles en los bosques disminuye el impacto del estrés y las perturbaciones mediadas por el clima⁴. Se puede conseguir una mayor resistencia y resiliencia a los incendios forestales mediante tratamientos mecánicos de la vegetación con el uso de incendios prescritos y de incendios forestales controlados (KM 7.3, 28.5). Una mayor y mejor comprensión de las estrategias de adaptación adecuadas para salvaguardar los ecosistemas, las comunidades y las personas podría mejorar los resultados de futuras inversiones⁴. Existe evidencia de que la planificación, la zonificación, la actualización de los códigos de construcción y la protección contra incendios de las estructuras pueden mitigar el riesgo y las pérdidas en infraestructuras y propiedades^{48,49}. Las áreas clave de investigación futura incluyen, entre otras, el conjunto adecuado de prácticas basadas en la tierra (es decir, clareo, incendios controlados, etc.), así como la especificidad del ecosistema (p.ej., el tipo de bosque o vegetación) y la escala espacial adecuada necesaria para reducir significativamente el riesgo¹⁵. Por último, una mayor comprensión de la composición de las poblaciones rurales en el oeste de los EE. UU., de cómo los diferentes subgrupos de la población acceden a la información, y de las respuestas de comportamiento a las alertas relacionadas con incendios forestales permitiría mensajes más específicos y una asignación más informada de los recursos durante los incendios forestales y los eventos de humo⁴⁵.

Referencias

- Margolis, E.Q., C.H. Guiterman, R.D. Chavardès, J.D. Coop, K. Copes-Gerbitz, D.A. Dawe, D.A. Falk, J.D. Johnston, E. Larson, H. Li, J.M. Marschall, C.E. Naficy, A.T. Naito, M.-A. Parisien, S.A. Parks, J. Portier, H.M. Poulos, K.M. Robertson, J.H. Speer, M. Stambaugh, T.W. Swetnam, A.J. Tepley, I. Thapa, C.D. Allen, Y. Bergeron, L.D. Daniels, P.Z. Fulé, D. Gervais, M.P. Girardin, G.L. Harley, J.E. Harvey, K.M. Hoffman, J.M. Huffman, M.D. Hurteau, L.B. Johnson, C.W. Lafon, M.K. Lopez, R.S. Maxwell, J. Meunier, M. North, M.T. Rother, M.R. Schmidt, R.L. Sherriff, L.A. Stachowiak, A. Taylor, E.J. Taylor, V. Trouet, M.L. Villarreal, L.L. Yocom, K.B. Arabas, A.H. Arizpe, D. Arseneault, A.A. Tarancón, C. Baisan, E. Bigio, F. Biondi, G.D. Cahalan, A. Caprio, J. Cerano-Paredes, B.M. Collins, D.C. Dey, I. Drobyshev, C. Farris, M.A. Fenwick, W. Flatley, M.L. Floyd, Z.e. Gedalof, A. Holz, L.F. Howard, D.W. Huffman, J. Iniguez, K.F. Kipfmüller, S.G. Kitchen, K. Lombardo, D. McKenzie, A.G. Merschel, K.L. Metlen, J. Minor, C.D. O'Connor, L. Platt, W.J. Platt, T. Saladyga, A.B. Stan, S. Stephens, C. Sutherland, R. Touchan, and P.J. Weisberg, 2022: The North American tree-ring fire-scar network. *Ecosphere*, **13** (7), e4159. <https://doi.org/10.1002/ecs2.4159>
- D'Antonio, C.M. and P.M. Vitousek, 1992: Biological invasions by exotic grasses, the grass/fire cycle, and global change. *Annual Review of Ecology and Systematics*, **23** (1), 63–87. <https://doi.org/10.1146/annurev.es.23.110192.000431>
- Hagmann, R.K., P.F. Hessburg, S.J. Prichard, N.A. Povak, P.M. Brown, P.Z. Fulé, R.E. Keane, E.E. Knapp, J.M. Lydersen, K.L. Metlen, M.J. Reilly, A.J. Sánchez Meador, S.L. Stephens, J.T. Stevens, A.H. Taylor, L.L. Yocom, M.A. Battaglia, D.J. Churchill, L.D. Daniels, D.A. Falk, P. Henson, J.D. Johnston, M.A. Krawchuk, C.R. Levine, G.W. Meigs, A.G. Merschel, M.P. North, H.D. Safford, T.W. Swetnam, and A.E.M. Waltz, 2021: Evidence for widespread changes in the structure, composition, and fire regimes of western North American forests. *Ecological Applications*, **31** (8), e02431. <https://doi.org/10.1002/eap.2431>
- Hessburg, P.F., C.L. Miller, S.A. Parks, N.A. Povak, A.H. Taylor, P.E. Higuera, S.J. Prichard, M.P. North, B.M. Collins, M.D. Hurteau, A.J. Larson, C.D. Allen, S.L. Stephens, H. Rivera-Huerta, C.S. Stevens-Rumann, L.D. Daniels, Z.e. Gedalof, R.W. Gray, V.R. Kane, D.J. Churchill, R.K. Hagmann, T.A. Spies, C.A. Cansler, R.T. Belote, T.T. Veblen, M.A. Battaglia, C. Hoffman, C.N. Skinner, H.D. Safford, and R.B. Salter, 2019: Climate, environment, and disturbance history govern resilience of western North American forests. *Frontiers in Ecology and Evolution*, **7**, 239. <https://doi.org/10.3389/fevo.2019.00239>
- Radeloff, V.C., D.P. Helmers, H.A. Kramer, M.H. Mockrin, P.M. Alexandre, A. Bar-Massada, V. Butsic, T.J. Hawbaker, S. Martinuzzi, A.D. Syphard, and S.I. Stewart, 2018: Rapid growth of the US wildland-urban interface raises wildfire risk. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, **115** (13), 3314–3319. <https://doi.org/10.1073/pnas.1718850115>
- Chen, B. and Y. Jin, 2022: Spatial patterns and drivers for wildfire ignitions in California. *Environmental Research Letters*, **17** (5), 055004. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ac60da>
- Keeley, J.E. and A.D. Syphard, 2018: Historical patterns of wildfire ignition sources in California ecosystems. *International Journal of Wildland Fire*, **27** (12), 781–799. <https://doi.org/10.1071/wf18026>
- UNEP, 2022: Spreading like Wildfire: The Rising Threat of Extraordinary Landscape Fires. A UNEP Rapid Response Assessment. United Nations Environment Programme, Nairobi, Kenya. <https://www.unep.org/resources/report/spreading-wildfire-rising-threat-extraordinary-landscape-fires>
- Coop, J.D., S.A. Parks, C.S. Stevens-Rumann, S.D. Crausbay, P.E. Higuera, M.D. Hurteau, A. Tepley, E. Whitman, T. Assal, B.M. Collins, K.T. Davis, S. Dobrowski, D.A. Falk, P.J. Fornwalt, P.Z. Fulé, B.J. Harvey, V.R. Kane, C.E. Littlefield, E.Q. Margolis, M. North, M.-A. Parisien, S. Prichard, and K.C. Rodman, 2020: Wildfire-driven forest conversion in western North American landscapes. *BioScience*, **70** (8), 659–673. <https://doi.org/10.1093/biosci/biaa061>
- Fettig, C.J., C. Asaro, J.T. Nowak, K.J. Dodds, K.J.K. Gandhi, J.E. Moan, and J. Robert, 2022: Trends in bark beetle impacts in North America during a period (2000–2020) of rapid environmental change. *Journal of Forestry*, **120** (6), 693–713. <https://doi.org/10.1093/jofore/fvac021>
- Goulden, M.L. and R.C. Bales, 2019: California forest die-off linked to multi-year deep soil drying in 2012–2015 drought. *Nature Geoscience*, **12** (8), 632–637. <https://doi.org/10.1038/s41561-019-0388-5>
- Abatzoglou, J.T. and A.P. Williams, 2016: Impact of anthropogenic climate change on wildfire across western US forests. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, **113** (42), 11770–11775. <https://doi.org/10.1073/pnas.1607171113>

13. Mueller, S.E., A.E. Thode, E.Q. Margolis, L.L. Yocom, J.D. Young, and J.M. Iniguez, 2020: Climate relationships with increasing wildfire in the southwestern US from 1984 to 2015. *Forest Ecology and Management*, **460**, 117861. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.117861>
14. Parks, S.A. and J.T. Abatzoglou, 2020: Warmer and drier fire seasons contribute to increases in area burned at high severity in western US forests from 1985 to 2017. *Geophysical Research Letters*, **47** (22), e2020GL089858. <https://doi.org/10.1029/2020gl089858>
15. Stephens, S.L., A.A. Bernal, B.M. Collins, M.A. Finney, C. Lautenberger, and D. Saah, 2022: Mass fire behavior created by extensive tree mortality and high tree density not predicted by operational fire behavior models in the southern Sierra Nevada. *Forest Ecology and Management*, **518**, 120258. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2022.120258>
16. Williams, J.N., H.D. Safford, N. Enstice, Z.L. Steel, and A.K. Paulson, 2023: High-severity burned area and proportion exceed historic conditions in Sierra Nevada, California, and adjacent ranges. *Ecosphere*, **14** (1), e4397. <https://doi.org/10.1002/ecs2.4397>
17. Abatzoglou, J.T., D.S. Battisti, A.P. Williams, W.D. Hansen, B.J. Harvey, and C.A. Kolden, 2021: Projected increases in western US forest fire despite growing fuel constraints. *Communications Earth & Environment*, **2** (1), 227. <https://doi.org/10.1038/s43247-021-00299-0>
18. Kerns, B.K., C. Tortorelli, M.A. Day, T. Nietupski, A.M.G. Barros, J.B. Kim, and M.A. Krawchuk, 2020: Invasive grasses: A new perfect storm for forested ecosystems? *Forest Ecology and Management*, **463**, 117985. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.117985>
19. Bradley, B.A., C.A. Curtis, E.J. Fusco, J.T. Abatzoglou, J.K. Balch, S. Dadashi, and M.-N. Tuanmu, 2018: Cheatgrass (*Bromus tectorum*) distribution in the intermountain Western United States and its relationship to fire frequency, seasonality, and ignitions. *Biological Invasions*, **20** (6), 1493–1506. <https://doi.org/10.1007/s10530-017-1641-8>
20. Syphard, A.D., J.E. Keeley, M. Gough, M. Lazarz, and J. Rogan, 2022: What makes wildfires destructive in California? *Fire*, **5** (5). <https://doi.org/10.3390/fire5050133>
21. Hayes, K. and B. Buma, 2021: Effects of short-interval disturbances continue to accumulate, overwhelming variability in local resilience. *Ecosphere*, **12** (3), e03379. <https://doi.org/10.1002/ecs2.3379>
22. Lydersen, J.M., B.M. Collins, M. Coppoletta, M.R. Jaffe, H. Northrop, and S.L. Stephens, 2019: Fuel dynamics and reburn severity following high-severity fire in a Sierra Nevada, USA, mixed-conifer forest. *Fire Ecology*, **15** (1), 43. <https://doi.org/10.1186/s42408-019-0060-x>
23. Steel, Z.L., D. Foster, M. Coppoletta, J.M. Lydersen, S.L. Stephens, A. Paudel, S.H. Markwith, K. Merriam, and B.M. Collins, 2021: Ecological resilience and vegetation transition in the face of two successive large wildfires. *Journal of Ecology*, **109** (9), 3340–3355. <https://doi.org/10.1111/1365-2745.13764>
24. Guiterman, C.H., R.M. Gregg, L.A.E. Marshall, J.J. Beckmann, P.J. van Mantgem, D.A. Falk, J.E. Keeley, A.C. Caprio, J.D. Coop, P.J. Fornwalt, C. Haffey, R.K. Hagmann, S.T. Jackson, A.M. Lynch, E.Q. Margolis, C. Marks, M.D. Meyer, H. Safford, A.D. Syphard, A. Taylor, C. Wilcox, D. Carril, C.A.F. Enquist, D. Huffman, J. Iniguez, N.A. Molinari, C. Restaino, and J.T. Stevens, 2022: Vegetation type conversion in the US Southwest: Frontline observations and management responses. *Fire Ecology*, **18** (1), 6. <https://doi.org/10.1186/s42408-022-00131-w>
25. Brooks, M.L., C.M. D'Antonio, D.M. Richardson, J.B. Grace, J.E. Keeley, J.M. DiTomaso, R.J. Hobbs, M. Pellant, and D. Pyke, 2004: Effects of invasive alien plants on fire regimes. *BioScience*, **54** (7), 677–688. [https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2004\)054\[0677:eoiapo\]2.0.co;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2004)054[0677:eoiapo]2.0.co;2)
26. Williamson, M.A., E. Fleishman, R.C. Mac Nally, J.C. Chambers, B.A. Bradley, D.S. Dobkin, D.I. Board, F.A. Fogarty, N. Horning, M. Leu, and M. Wohlfeil Zillig, 2020: Fire, livestock grazing, topography, and precipitation affect occurrence and prevalence of cheatgrass (*Bromus tectorum*) in the Central Great Basin, USA. *Biological Invasions*, **22** (2), 663–680. <https://doi.org/10.1007/s10530-019-02120-8>
27. Falk, D.A., P.J. van Mantgem, J.E. Keeley, R.M. Gregg, C.H. Guiterman, A.J. Tepley, D. Jn Young, and L.A. Marshall, 2022: Mechanisms of forest resilience. *Forest Ecology and Management*, **512**, 120129. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2022.120129>
28. Stephens, S.L., S. Thompson, G. Boisramé, B.M. Collins, L.C. Ponisio, E. Rakhmatulina, Z.L. Steel, J.T. Stevens, J.W. van Wagendonk, and K. Wilkin, 2021: Fire, water, and biodiversity in the Sierra Nevada: A possible triple win. *Environmental Research Communications*, **3** (8), 081004. <https://doi.org/10.1088/2515-7620/ac17e2>

29. Kean, J.W., D.M. Staley, J.T. Lancaster, F.K. Rengers, B.J. Swanson, J.A. Coe, J.L. Hernandez, A.J. Sigman, K.E. Allstadt, and D.N. Lindsay, 2019: Inundation, flow dynamics, and damage in the 9 January 2018 Montecito debris-flow event, California, USA: Opportunities and challenges for post-wildfire risk assessment. *Geosphere*, **15** (4), 1140–1163. <https://doi.org/10.1130/ges02048.1>
30. Murphy, B.P., L.L. Yocom, and P. Belmont, 2018: Beyond the 1984 perspective: Narrow focus on modern wildfire trends underestimates future risks to water security. *Earth's Future*, **6** (11), 1492–1497. <https://doi.org/10.1029/2018ef001006>
31. Paul, M.J., S.D. LeDuc, M.G. Lassiter, L.C. Moorhead, P.D. Noyes, and S.G. Leibowitz, 2022: Wildfire induces changes in receiving waters: A review with considerations for water quality management. *Water Resources Research*, **58** (9), e2021WR030699. <https://doi.org/10.1029/2021wr030699>
32. Proctor, C.R., J. Lee, D. Yu, A.D. Shah, and A.J. Whelton, 2020: Wildfire caused widespread drinking water distribution network contamination. *AWWA Water Science*, **2** (4), e1183. <https://doi.org/10.1002/aws2.1183>
33. Aubry-Wake, C., A. Bertoncini, and J.W. Pomeroy, 2022: Fire and ice: The impact of wildfire-affected albedo and irradiance on glacier melt. *Earth's Future*, **10** (4), e2022EF002685. <https://doi.org/10.1029/2022ef002685>
34. Skiles, S.M.K., M. Flanner, J.M. Cook, M. Dumont, and T.H. Painter, 2018: Radiative forcing by light-absorbing particles in snow. *Nature Climate Change*, **8** (11), 964–971. <https://doi.org/10.1038/s41558-018-0296-5>
35. Chase, J. and P. Hansen, 2021: Displacement after the Camp Fire: Where are the most vulnerable? *Society & Natural Resources*, **34** (12), 1566–1583. <https://doi.org/10.1080/08941920.2021.1977879>
36. Muhs, J.W., M. Parvania, and M. Shahidehpour, 2020: Wildfire risk mitigation: A paradigm shift in power systems planning and operation. *Journal of Power and Energy*, **7**, 366–375. <https://doi.org/10.1109/oaipse.2020.3030023>
37. Wong-Parodi, G., 2020: When climate change adaptation becomes a “looming threat” to society: Exploring views and responses to California wildfires and public safety power shutoffs. *Energy Research & Social Science*, **70**, 101757. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2020.101757>
38. Cascio, W.E., 2018: Wildland fire smoke and human health. *Science of The Total Environment*, **624**, 586–595. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.12.086>
39. Xu, R., P. Yu, M.J. Abramson, F.H. Johnston, J.M. Samet, M.L. Bell, A. Haines, K.L. Ebi, S. Li, and Y. Guo, 2020: Wildfires, global climate change, and human health. *New England Journal of Medicine*, **383**, 2173–2181. <https://doi.org/10.1056/nejmsr2028985>
40. Peterson, D.L., S.M. McCaffrey, and T. Patel-Weynand, Eds., 2022: *Wildland Fire Smoke in the United States: A Scientific Assessment*. Springer, Cham, Switzerland, 341 pp. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-87045-4>
41. Wu, X., R.C. Nethery, M.B. Sabath, D. Braun, and F. Dominici, 2020: Air pollution and COVID-19 mortality in the United States: Strengths and limitations of an ecological regression analysis. *Science Advances*, **6** (45), 4049. <https://doi.org/10.1126/sciadv.abd4049>
42. Zhou, X., K. Josey, L. Kamareddine, M.C. Caine, T. Liu, L.J. Mickley, M. Cooper, and F. Dominici, 2021: Excess of COVID-19 cases and deaths due to fine particulate matter exposure during the 2020 wildfires in the United States. *Science Advances*, **7** (33), 8789. <https://doi.org/10.1126/sciadv.abi8789>
43. Abdo, M., I. Ward, K. O'Dell, B. Ford, J.R. Pierce, E.V. Fischer, and J.L. Crooks, 2019: Impact of wildfire smoke on adverse pregnancy outcomes in Colorado, 2007–2015. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, **16** (19), 3720. <https://doi.org/10.3390/ijerph16193720>
44. Willson, B.E., N.A. Gee, N.H. Willits, L. Li, Q. Zhang, K.E. Pinkerton, and B.L. Lasley, 2021: Effects of the 2018 Camp Fire on birth outcomes in non-human primates: Case-control study. *Reproductive Toxicology*, **105**, 128–135. <https://doi.org/10.1016/j.reprotox.2021.08.005>
45. Méndez, M., G. Flores-Haro, and L. Zucker, 2020: The (in)visible victims of disaster: Understanding the vulnerability of undocumented Latino/a and Indigenous immigrants. *Geoforum*, **116**, 50–62. <https://doi.org/10.1016/j.geoforum.2020.07.007>
46. Navarro, K.M., M.T. Kleinman, C.E. Mackay, T.E. Reinhardt, J.R. Balmes, G.A. Broyles, R.D. Ottmar, L.P. Naher, and J.W. Domitrovich, 2019: Wildland firefighter smoke exposure and risk of lung cancer and cardiovascular disease mortality. *Environmental Research*, **173**, 462–468. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2019.03.060>

47. Stephens, S.L., J.D. McIver, R.E. Boerner, C.J. Fettig, J.B. Fontaine, B.R. Hartsough, P.L. Kennedy, and D.W. Schwilk, 2012: The effects of forest fuel-reduction treatments in the United States. *BioScience*, **62** (6), 549–560. <https://doi.org/10.1525/bio.2012.62.6.6>
48. Arruda, M.R.T., T. Tenreiro, and F. Branco, 2021: Rethinking how to protect dwellings against wildfires. *Journal of Performance of Constructed Facilities*, **35** (6), 06021004. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CF.1943-5509.0001643](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CF.1943-5509.0001643)
49. Knapp, E.E., Y.S. Valachovic, S.L. Quarles, and N.G. Johnson, 2021: Housing arrangement and vegetation factors associated with single-family home survival in the 2018 Camp Fire, California. *Fire Ecology*, **17** (1), 25. <https://doi.org/10.1186/s42408-021-00117-0>
50. Hessburg, P.F., S.J. Prichard, R.K. Hagmann, N.A. Povak, and F.K. Lake, 2021: Wildfire and climate change adaptation of western North American forests: A case for intentional management. *Ecological Applications*, **31** (8), e02432. <https://doi.org/10.1002/eap.2432>