



APUNTE

Megaincendios y sus desafíos en Chile.

Rolando Rodríguez Leiva^{1*}; Miguel Espinosa Bancalari¹  & Eduardo Acuña Carmona¹.

¹ Universidad de Concepción, Facultad de Ciencias Forestales. Concepción, Chile. rorodrig@udec.cl; mespinos@udec.cl; edacuna@udec.cl

DOI: <https://doi.org/10.52904/0718-4646.2025.636>

Recibido: 08.07.2025; Aceptado: 18.08.2025.

RESUMEN

Se analiza el fenómeno de los megaincendios que han ocurrido en Chile. Se examinan los factores ambientales relevantes, como sequías y vientos además de factores sociales, que explican el megaincendio. Se propone que la capacidad de gestionar con mayor posibilidad de éxito la prevención y la supresión de los incendios forestales, es con una mejor utilización y comprensión de la física de los incendios y el uso inteligente de modelos físicos-matemáticos, por lo cual la docencia y la investigación forestal deben ser orientadas a los nuevos contextos climáticos y sociales.

Palabras clave: megaincendios, factores que inciden en los megaincendios, regímenes de incendios, zonas de seguridad

SUMMARY

The phenomenon of megafires that have occurred in Chile is analyzed. Relevant environmental factors, such as drought and wind as well as social factors, that explain the megafires are examined. It is proposed that the ability to manage the prevention and suppression of forest fires with a greater chance of success is a better use and understanding of the physics of fires and the intelligent use of physical-mathematical models, so that forestry teaching and research should be oriented to the new climatic and social contexts.

Key words: megafires, factors that affect megafires, fires regimes, safety zones.

INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas Chile ha experimentado un crecimiento sostenido de los niveles de riesgo de desastres por incendios forestales, que han provocado importantes pérdidas de vidas humanas, bienes materiales, infraestructura productiva y daño ambiental. La reciente legislación forestal ha determinado que sea el Servicio Nacional Forestal (SERNAFOR), el que debe coordinar y ejecutar la prevención, mitigación, protección y respuesta contra los incendios forestales. Está en discusión en el Parlamento la Ley de Incendios Forestales, que incluye además medidas de represión de la ocurrencia por negligencia e intencionalidad. Por otra parte, no es posible soslayar que las más de tres millones de ha de suelos con uso de plantaciones forestales existentes en el país (INFOR, 2024) seguirán teniendo importancia económica, social y ambiental. Es de esperar también que seguirá aumentando la superficie de plantaciones en suelos erosionados y que será necesario preservar, conservar, restaurar y manejar las más de 14 millones de ha de bosque nativo en tierras públicas y privadas, las que deben ser protegidas de los incendios forestales. Además, las características climáticas futuras prevén periodos extensos de sequías con inundaciones periódicas y fenómenos de vientos de alta turbulencia en la época estival. Estas condiciones predicen que a futuro ocurrirán muchas temporadas de incendios catastróficos o megaincendios, por lo que aumentará la preocupación por proteger las áreas urbanas identificadas con riesgo de incendios forestales, los bienes y las vidas de sus ciudadanos y el patrimonio que tiene el país



en sus bosques y su biodiversidad. Las políticas y la nueva institucionalidad, requiere del aporte de la ciencia y de la preparación idónea de los profesionales que deben enfrentar estos nuevos desafíos.

POLÍTICA E INSTITUCIONALIDAD PARA ENFRENTAR LOS INCENDIOS FORESTALES

En muchos países europeos y los Estados Unidos, el incendio forestal era considerado desde milenios como un fenómeno medioambiental natural, relacionado con la regeneración y dinámica de los ecosistemas. Tanto era este convencimiento, que el conocido ambientalista americano [Leopold \(1949\)](#) sostenía que los incendios forestales eran beneficiosos para los ecosistemas y necesarios para la propagación natural de numerosas especies de árboles y plantas. Por ello no se combatían los incendios, se les dejaba propagarse como quemaduras naturales prescritas. Situación que se rompe abruptamente con los incendios catastróficos del Parque Nacional Yellowstone en Estados Unidos en 1988 ([Schullery, 1989](#)). Como consecuencia, se abandona la política de la quema prescrita y en la actualidad en este país y en Europa, la gestión de incendios forestales está orientada en primer término a la seguridad de los combatientes y de la comunidad, pero incorporando el rol de los incendios forestales como proceso ecológico esencial ([Philpot et al., 1995](#)).

En Chile, los incendios forestales jugaron un rol importante en la historia del establecimiento de la vegetación. [Moreno-González et al. \(2021\)](#) reconstruyeron durante el holoceno la historia de la vegetación y los incendios forestales del ecotono bosque-estepa, durante los últimos 9.000 años. Antes de los 4.500 años AP¹, la vegetación esteparia dominaba el paisaje. Sin embargo, después de los 4.500 años sugiere que la estepa fue reemplazada gradualmente por matorrales y bosques en los últimos 2.500 años AP. En este período se registraron 20 incendios de baja magnitud, los que fueron más frecuentes entre los 6.000 y los 2.500 años AP. Los cambios en la composición de la vegetación estuvieron parcialmente relacionados con los cambios en la frecuencia de los incendios, mientras que la intensidad de los eventos de incendios no tuvo influencia en la composición de la vegetación ([Moreno-González et al., 2021](#)).

El fuego ha sido utilizado a lo largo de la historia de Chile a partir de la llegada de los colonizadores europeos, como una herramienta para despejar bosques para establecer praderas y campos agrícolas ([Camus, 2006](#)) y también en la guerra de Arauco como táctica de combate ([Elizalde, 1970](#)). La primera medida legal de uso del fuego fue muy contradictoria; el Decreto Supremo de la Ley de Bosques de 1931 prohibía el uso del fuego como método de explotación de bosques, pero autorizaba su uso en la habilitación de suelos para la agricultura. Solo a partir del año 1964 se inicia el registro y sistematización de la información sobre la ocurrencia y superficie quemada de incendios por Carabineros de Chile. Posteriormente, desde 1967 la función de prevención y combate de incendios Forestales queda radicada en el Servicio Agrícola y Ganadero, y a partir de 1974 en la Corporación Nacional Forestal, en su Programa de Protección Contra Incendios Forestales ([Haltenhoff, 2010](#)). En la década de 1980, comienzan los incendios simultáneos y catastróficos, por lo cual se incrementan sustancialmente los gastos para su prevención y supresión. En consecuencia, se promueve la política de las responsabilidades compartidas: el sector privado debe colaborar con el Estado en la prevención y supresión de los incendios forestales, política que se conserva hasta la actualidad.

Los incendios forestales poseen una serie de atributos dentro de un periodo histórico determinado, cuyas características es necesario conocer para comprender su funcionamiento. Los atributos que describen el régimen de incendios están definidos por la frecuencia, el tamaño, la intensidad (tasa de energía o calor por unidad de tiempo, por unidad de longitud del frente de incendio en kW/m), la estacionalidad, el tipo y la severidad de estos ([Flannigan et al., 2013](#)). Sin embargo, no es hasta 2017 que se verifica en Chile lo que en diversos países de Europa y en Estados Unidos se denomina como megaincendios. El régimen del mega incendio se caracteriza por posicionarse en el umbral de factibilidad de su control (intensidad de la línea de fuego 100.000 kW m⁻¹; velocidad de propagación > 50 m min⁻¹; distancia de pavesas mayor a 2 kilómetros de forma pasiva y valores de tasa de crecimiento extremo (superficie por hora, ha/h). Su comportamiento es impredecible usando modelos operativos, con momentos de comportamiento del fuego

¹ AP: Antes del Presente. Por convención se refiere a la cantidad de años antes de 1950.

observados que superan ampliamente lo esperado, desbordando la capacidad de toma de decisiones de una emergencia (Tedim *et al.*, 2018).

FACTORES RELEVANTES QUE EXPLICARÍAN LOS MEGAINCENDIOS

El problema de los megaincendios, es un tema de suyo complejo. Algunos factores esenciales que los favorecen son sequías y vientos, además de factores sociales como la expansión urbana y la localización de viviendas en áreas inadecuadas, entre otras características físicas y topográficas del terreno (exposición y pendiente).

Efecto de las Sequías

Según Garreaud *et al.* (2019), Chile central ha experimentado una secuencia ininterrumpida de años secos desde 2010 hasta el 2023, con déficits pluviométricos medios de 20-40%, constituyéndose en el evento de sequía más largo registrado y con pocos análogos en los últimos milenios en Chile. La sequía tiene dos efectos con relación al combustible de los incendios: sequedad e inflamabilidad.

- *Sequedad del combustible.*

La sequedad del combustible es el factor que más influye en la severidad de los incendios (Wang *et al.*, 2025). Por ejemplo, en el mega incendio de 2017 ocurrido en las Regiones del Maule y Biobío, el contenido de humedad del combustible fino varió entre 2,5 y 4,2% (CONAF, 2017).

- *Inflamabilidad de las plantas leñosas.*

La teoría clásica que explica la distribución de los carbohidratos producidos en la fotosíntesis es el principio de prioridad, según el cual un árbol asigna la biomasa siguiendo un sistema jerárquico de localización. El orden habitual es: (i) formación de tejido fotosintético (brotes, follaje y raíces nuevas), (ii) desarrollo de raíces finas y follaje, (iii) floración y producción de semillas, y (iv) extensión del crecimiento de ramas, tallo y raíces (Waring, 1987). Si aún quedan carbohidratos disponibles, se destinan al crecimiento en diámetro y a la síntesis de compuestos defensivos (Waring, 1987; Rodríguez *et al.*, 2003). No obstante, en condiciones de estrés, los árboles modifican este orden para favorecer la supervivencia. Así, durante sequías prolongadas, priorizan la asignación de carbohidratos al desarrollo de raíces finas, con el fin de explorar el agua del suelo y acceder a aguas subterráneas. De igual forma, incrementan la producción de compuestos defensivos, fundamentales para protegerse contra insectos y plagas (Waring, 1987; Rodríguez *et al.*, 2003).

Urrutia *et al.* (2023) muestran que los bosques de la región mediterránea de Chile, especialmente de *Nothofagus obliqua*, podrían ser capaces de mantener tasas de crecimiento radial y aclimatarse activamente a sequías persistentes aprovechando fuentes de agua más profundas (subterráneas). Sin embargo, cuando las plantas leñosas están establecidas sobre acuíferos confinados, la prioridad en la asignación de fotosintatos son los compuestos defensivos o fitoquímicos, que se concentran en las hojas o acículas. Al respecto, una reciente investigación de Guerrero *et al.* (2024) sobre la relación entre muchos rasgos químicos de las hojas y la inflamabilidad de las plantas, cuantificó un total de 118 compuestos químicos volátiles, en que los terpenos, las cetonas y los hidrocarburos constituyen el 75% de estos compuestos y cada especie presentó una fitoquímica única. Según el perfil fitoquímico se observaron diferentes grupos o tipos de inflamabilidad, en que *Lithraea caustica* y *Quillaja saponaria* fueron las especies menos inflamables, por su baja frecuencia de ignición, largo tiempo de flameo, corta duración de la llama y altos valores del punto de inflamación. Asimismo, tanto las especies nativas *Cryptocarya alba* y *Citronella mucronata* como las exóticas *Acacia melanoxylon* y *Eucalyptus globulus* fueron altamente inflamables, atribuible a su alta frecuencia de ignición, corto tiempo hasta la llama, valores de duración de la llama de medios a altos y valores de punto de inflamación de bajos a medios. Las especies *Pinus radiata* y *Persea lingue* mostraron valores intermedios de inflamabilidad para casi todas las variables analizadas, por lo que se pueden considerar especies con una inflamabilidad moderada (Guerrero *et al.*, 2024). De este estudio se desprende la compleja interacción entre una amplia gama de compuestos químicos y la

inflamabilidad, cuyo conocimiento puede ser un aporte al desarrollo de estrategias eficaces en la prevención y supresión de incendios.

Vientos Foehn

El viento Foehn se produce cuando un flujo de aire desciende desde la cordillera, lo que produce la compresión de la masa de aire y su calentamiento adiabático a sotavento de la cadena montañosa, acompañado de un fuerte secamiento de la masa de aire por la elevación de temperatura y el efecto de la retención de humedad a barlovento de esta. Generalmente son denominados por nombres vernáculos. Así, en California se les denomina “Santa Ana”, “Aspre” en Francia, “Zonda” en Argentina” y “Puelche” en Chile (Inzunza, 2009). En Chile el viento Puelche tiene efectos en el lado del sotavento, donde puede elevar sustancialmente la temperatura y reducir la humedad relativa del aire en solo horas. Este viento, normalmente en fuertes ráfagas, se conjuga con situaciones de baja nubosidad, alta radiación solar, alta evaporación y secamiento del combustible, lo que explica el drástico incremento en el riesgo de ocurrencia y severidad de incendios. Por tanto, el viento Puelche al aumentar la temperatura incrementa la velocidad de propagación del incendio. A su vez, genera condiciones de turbulencia de viento cálido, por lo cual las llamas y las pavesas se distribuyen en una forma absolutamente aleatoria, con distancias de hasta 2 km, haciendo muy problemática la gestión de supresión (Inzunza, 2009). Las condiciones de turbulencia del viento provocan también fallos en los tendidos eléctricos en las zonas urbanas o de interfase. Claros ejemplos de ello lo constituyen los incendios de las temporadas 1985-2009 en la Región del Biobío, que obligó a la CONAF Biobío a crear una Mesa Técnica con Empresas Eléctricas (Rodríguez, 2011); más recientemente, el mega incendio que asoló el área metropolitana de Los Ángeles y el condado de San Diego, California, Estados Unidos, en enero de 2025 (Penn, 2025).

Factores Sociales

En los últimos 30 años se ha producido en Chile un aumento demográfico exponencial, que ha derivado en la extensión de la superficie urbana hacia zonas de uso agrícola, como respuesta a la demanda de suelo para la localización de proyectos habitacionales, actividades comerciales y servicios. Se ha incrementado en un 90% la cantidad de viviendas en los últimos 8 años, mientras que la población podría incrementarse al menos un 36% en un futuro cercano (MINVU, 2024). Los cambios de uso del suelo por expansión urbana se han duplicado en la zona central del país, pasando de 132 mil ha a 227 mil ha. El crecimiento demográfico en áreas de interfaz urbano-rural es significativo, aumentando la presión sobre los ecosistemas naturales y las plantaciones. Los nuevos escenarios de riesgo de desastres ante la amenaza de incendios forestales y problemas asociados a la planificación territorial, ha llevado a la CONAF a identificar diferentes niveles de riesgo por incendios forestales entre las Regiones de Valparaíso y Los Lagos, que comprende 285 áreas urbanas principales, 918 áreas urbanas secundarias, 264 aldeas, 2.284 manzanas y 1.098.718 de casas rurales aisladas. De las 730.000 ha aproximadamente que comprenden las zonas de interfaz identificadas, la condición de riesgo alcanza el 78%, las que se encuentran bajo Riesgo Alto y Muy Alto (CONAF, 2021).

LAS BASES FÍSICAS DEL INCENDIO FORESTAL Y SU USO POTENCIAL EN LA PREVENCIÓN Y SUPRESIÓN DE INCENDIOS FORESTALES

En todos los incendios forestales, grandes o pequeños, hojas, hierbas, arbustos y material leñoso, se combinan con el oxígeno del aire para formar productos de combustión (CO_2 y vapor de agua), liberando calor que es una forma de radiación termal. Los comportamientos de la combustión en los incendios forestales de alta intensidad se derivan de la interacción de la combustión con la transferencia de radiación termal y el flujo atmosférico en condiciones complicadas de carga y sequedad del combustible, meteorología y topografía (Liu *et al.*, 2021). La energía termal liberada es el producto de combustión más importante en el comportamiento del fuego, por sus efectos ambientales, ecológicos y sociales.

La transferencia de energía termal en un incendio forestal utiliza dos vías: convección o radiación. La convección, con alguna ayuda de la radiación, es el principal medio de transferencia de energía termal desde los estratos inferiores de vegetación a las copas (Liu *et al.*, 2021). Debido a que la llama que irradia

un incendio forestal es generalmente gruesa, se considera un incendio forestal como un cuerpo negro, debido a que absorbe la radiación solar y la convierte en energía termal, aumentando la temperatura de las llamas y de la vegetación (Butler *et al.*, 2004).

Un incendio forestal emite radiación termal, una forma de energía electromagnética a temperaturas superiores al cero absoluto (-273 °K). La energía termal se produce debido a la vibración y movimientos de las partículas que componen el combustible. Se caracteriza por tener una longitud de onda que depende de la temperatura, por lo cual se emite en las longitudes de onda infrarroja del espectro electromagnético (0,79 μm) visible (0,4 a 0,78 μm) y ultravioleta (0,1 y 0,4 μm) (Morvan, 2011). Esta distribución espectral de un incendio forestal se aproxima a la del cuerpo negro, porque la temperatura efectiva puede ser muy alta, en el orden de los 1.200 °K, similar a un cuerpo negro perfecto (Boulet *et al.*, 2011). Un incendio forestal no alcanza el comportamiento de un cuerpo negro perfecto (emite toda la energía que absorbe), sino que se considera un cuerpo negro no perfecto (emite parte de la energía que absorbe), en que una fracción de la energía emitida se refleja o transmite por las llamas, variando entre 0,41 a 0,74 para llamas de 1 a 4 m de longitud (Butler *et al.*, 2004).

En física, la relación entre la cantidad de radiación que se detecta desde una fuente, y la cantidad de radiación que se emitiría si la fuente estuviera en una posición ideal, se denomina factor vista; es decir, la transferencia de radiación sin obstáculos ni absorción de energía termal (Modest, 2003). En Ingeniería el factor vista es comúnmente utilizado para diseñar sistemas de detección de radiación y corregir la cantidad de radiación que se detecta en diferentes aplicaciones (Modest, 2003). Actualmente la utilización de la física por la ciencia forestal es la base del estudio de la transferencia de calor en los incendios forestales y del factor vista. Las leyes básicas involucradas son: la ley de Planck, que indica la cantidad de energía electromagnética radiada por un cuerpo negro para diferentes longitudes de onda en equilibrio térmico, y la ley de desplazamiento de Wien. La ley de Planck fue un intento de mejorar una expresión propuesta por Wilhelm Wien, que ajustaba a los datos experimentales a longitudes de onda larga, pero se desviaba de ellos a longitudes de onda cortas (Marr & Wilkin, 2012). La Ley de Stefan-Boltzmann, es el resultado de integrar la ley de Planck a través de toda su longitud de onda y en todas las direcciones, obteniendo una expresión para la tasa de emisión total de energía radiante de un cuerpo negro perfecto (Butler *et al.*, 2004):

$$E_b = \int_0^{\infty} \pi i'_{\lambda b}(\lambda) d\lambda = \delta T^4 \quad [1]$$

Donde:

E_b : energía radiante (Watt m^{-2}),

$\pi i'_{\lambda b}(\lambda)$: intensidad de la energía radiante de un cuerpo negro para un pequeño intervalo $d\lambda$ de todas las longitudes de onda,

δ : constante de Boltzmann ($5,6696 \times 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$)

T : temperatura (°K).

Por ello, la investigación de la ciencia forestal se ha concentrado en el comportamiento de la temperatura y la emisividad en incendios forestales. Por ejemplo, Butler *et al.* (2004) relacionaron la Ley de Stefan-Boltzmann con mediciones temporales y espaciales del flujo de energía radiante y las temperaturas del aire o de los gases en incendios de copas a escala real, provocados por la turbulencia del viento, en bosques de *Pinus* y *Picea* de 13 m de altura. Los datos indican que en este tipo de incendios los niveles máximos de flujo de energía radiante y las temperaturas máximas pueden alcanzar 290 kW m^{-2} y 1.330 °C, respectivamente. En el momento de la llegada del frente de llamas a un punto específico, las temperaturas del aire muestran tasas de cambio de temperatura de hasta 700 °C s^{-1} en la parte superior de la cubierta forestal. La tasa de mayor velocidad de calentamiento se produce a 3,1 m del suelo y es de 30 °C s^{-1} (Butler *et al.*, 2004). Pareciera que los megaincendios desarrollan su propio microclima.

Los avances en la investigación sobre la física de los incendios forestales llevadas a cabo por el Servicio Forestal de los Estados Unidos, entidades europeas y el CSIRO de Australia, se han constituido en la base científica para el desarrollo de la silvicultura preventiva y la mejora en las operaciones de supresión. Estas incluyen:



Mitigación para la Vida y la Seguridad de las Personas e Infraestructura Asociada por la Energía Termal

La energía termal representa el mayor peligro para las personas y los animales en los incendios de interfase o urbanos. Las personas y los animales pueden huir de un frente de llamas que se aproxima y las brasas pueden producir quemaduras locales, pero el calor radiante se proyecta más allá del frente de llamas. Por ello, el Servicio Forestal de los Estados Unidos, Australia, Europa y Chile, utilizan el término «espacio defendible», para describir la zona de vegetación que debe manejarse o eliminarse, para proteger estructuras o personas en una zona urbana o de interfase (Butler & Cohen, 1998). Los expertos de CONAF determinan los espacios defendibles en Chile. Estos espacios pueden estimarse utilizando un modelo que permite calcular el flujo de calor radiante (RHF) que incide sobre un objeto, a partir de la energía emitida por el frente de incendio y que no es absorbida por la atmósfera. Para ello, por ejemplo, puede utilizarse el modelo australiano que relaciona la Ley de Stefan-Boltzmann y el Factor Vista para estimar el flujo de energía termal (Tan *et al.*, 2005):

$$RHF = \tau * \emptyset * \varepsilon * \sigma * T^4 \quad [2]$$

Donde:

RHF: flujo de energía termal (kW m⁻²),

τ : transmisividad atmosférica,

$\emptyset$: parámetro del factor vista, que se utiliza para definir los efectos de la orientación en la transferencia de calor por radiación entre dos superficies y que considera el grado de inclinación de la llama.

El factor vista se estima sobre la base de la longitud de la llama (m), ancho de la llama (m), elevación del receptor (m) -que por defecto es el nivel opuesto al centro de la llama-, el ángulo de la llama (grados), la pendiente entre la vegetación, la estructura (grados) y distancia de separación (m) y T la temperatura (°K). Estos datos generalmente se obtienen de los modelos de combustibles (Tan *et al.*, 2005). A partir de este modelo u otros, puede estimarse la distancia mínima entre la vegetación potencial a quemarse y la vivienda o poblados que definen la zona de seguridad.

En Chile, Castillo *et al.* (2022) utilizaron el RHF para estimar los espacios seguros en áreas de interfase urbano rural en la zona mediterránea de Chile central.

Determinación de la Zona de Seguridad en las Operaciones de Supresión

Las zonas de seguridad son una componente primordial para proteger a los combatientes de los incendios forestales, especialmente durante la construcción de cortafuegos. Pueden utilizarse modelos físicos de transferencia de calor y factor vista, para estimar la distancia que asegure que los brigadistas no serán afectados por la radiación termal, para mejorar así su seguridad. Una aproximación es el modelo desarrollado por Samper (2022) en la Comunidad Valenciana, España, para el diseño de áreas cortafuego según las distancias de separación segura en función de la radiación emitida por el combustible.

Desarrollo de Modelos de Simulación de Comportamiento del Fuego

Los modelos de simulación son necesarios para facilitar la toma de decisiones a los servicios forestales, ya que se requiere una estimación precisa del comportamiento de un incendio en particular, que permita analizar su impacto y riesgos potenciales. La investigación aplicada y la tecnología han mejorado conjuntamente la aplicación de modelos de incendios y la toma de decisiones operativas (Cardil *et al.*, 2021). En Chile el modelo Kitral, desarrollado por Castillo *et al.* (2017), se aplicó y validó en la Provincia de Valparaíso, cubriendo una superficie de 170.000 hectáreas.



CONCLUSIONES

La capacidad de gestionar con éxito la prevención y la supresión de los incendios forestales será mayor mediante una mejor utilización y comprensión de la física de los incendios y el uso inteligente de modelos físicos-matemáticos. Existe suficiente información y experiencia acumulada para aplicar medidas de prevención y control fundada en antecedentes validados, contribuyendo así con los organismos que la sociedad ha encomendado para proteger la vida de los ciudadanos y el desarrollo forestal de Chile. En este sentido, la docencia y la investigación necesariamente deben estar en línea con los nuevos desafíos.

REFERENCIAS

- Boulet, P., Parent, G., Acem, Z., Kaiss, A., Billaud, Y., Porterie, B., Pizzo, Y. *et al.* (2011). Experimental investigation of radiation emitted by optically thin to optically thick wildland flames. *Journal of Combustion*, 2011: 1-8. <https://doi.org/10.1155/2011/137437>
- Butler, B.W. & Cohen, J.D. (1998). Firefighter safety zones: A theoretical model based on radiative heating. *International Journal of Wildland Fire*, 8(2): 73-77. <https://doi.org/10.1071/WF9980073>
- Butler, B.W., Cohen, J., Latham, J.D., Schuette, R.D., Sopko, P., Shannon, K.S., Jimenez, D. *et al.* (2004). Measurements of radiant emissive power and temperatures in crown fires. *Canadian Journal of Forest Research*, 34(8): 1577-1587. <https://doi.org/10.1139/x04-060>
- Camus, P. (2006). Ambiente, bosques y gestión forestal en Chile 1541-2005. Centro de Investigaciones Barros Arana. Lom Ediciones. Santiago, Chile. 374 p.
- Cardil, A., Monedero, S., Schag, G., de Miguel, S., Tapia, M., Stoof, C.R., Silva, C. *et al.* (2021). Fire behavior modeling for operational decision-making. *Current Opinion in Environmental Science and Health*, N° 23. Pp: 1-7. <https://doi.org/10.1016/j.coesh.2021.100291>
- Castillo, M.E., Molina, J.R., Silva, F.R., García, P. & Garfías, R. (2017). A system to evaluate fire impacts from simulated fire behavior in mediterranean areas of central Chile. *Science of the Total Environment*, N° 579. Pp: 1410-1418. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.11.139>
- Castillo, M.E., Molina, J.R., Bonilla, S. & Moreno, R.A. (2022). Calculating minimum safety distance against wildfires at the wildland-urban interface in Chile and Spain. *Heliyon*, 8(11): 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e11238>
- CONAF (Corporación Nacional Forestal). (2017). Descripción y efectos tormenta de fuego 18 de enero a 5 de febrero 2017 en región de O'Higgins, El Maule y Bío-Bío. Consultado 12 de febrero 2025. En: <https://es.scribd.com/document/385156651/Descripcion-y-Efectos-Tormenta-de-Fuego-18-Enero-Al-5-Febrero-2017>
- CONAF (Corporación Nacional Forestal). 2021. Protección contra incendios forestales. Informe de detalle a la Dirección de Presupuesto. Santiago, Chile. 13 p.
- Elizalde, R. (1970). La sobrevivencia de Chile. La conservación de sus recursos naturales renovables. 2da ed. Ministerio de Agricultura, Servicio Agrícola y Ganadero. Santiago, Chile. 492 p.
- Flannigan, M., Cantin, A.S., Groot, W.J.D., Wotton, M., Newbery, A. & Gowman, L.M. (2013). Global wildland fire season severity in the 21st century. *Forest Ecology and Management* Vol. 294. Pp: 54-61. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2012.10.022>
- Garreaud, D.R., Alvarez, C., Barichivich, J., Boisier, J.P., Christie, D., Galleguillos, M., LeQuesne, C. *et al.* (2019). The 2010–2015 megadrought in central Chile: impacts on regional hydroclimate and vegetation. *Hydrology and Earth System Sciences*, 21(12): 6307-6327. <https://doi.org/10.5194/hess-21-6307-2017>
- Guerrero, F., Espinoza, L., Carmona, C., Blackhall, M., Quintero, C., Ocampo-Zuleta, K., Paula, S. *et al.* (2024). Unraveling the chemistry of plant flammability: Exploring the role of volatile secondary metabolites beyond terpenes. *Forest Ecology and Management*, 572: 122269. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2024.122269>



- Haltenhoff, H. (2010).** Los grandes incendios forestales en Chile 1985-2009. CONAF. Documento de Trabajo 539. Santiago, Chile. 78 p.
- INFOR (Instituto Forestal). (2024).** Anuario Forestal 2024. Boletín Estadístico N° 199. Santiago. 290 p. En: <https://wef.infor.cl/index.php/publicaciones/boletines-estadisticos/anuario-forestal>
- Inzunza, J.C. (2009).** Relación entre el viento Puelche y la ocurrencia de incendios forestales en la Región del Bío Bío, Chile. Ingeniería y Ciencia, 5(10): 33-48. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=83512335002>
- Leopold, A. (1949).** A sand county almanac: and sketches here and there. Oxford University Press. 240 p.
- Liu, N., Lei, J., Gao, W., Chen, H. & Xie, X. (2021).** Combustion dynamics of large-scale wildfires. Proceedings of the Combustion Institute, 38(1): 157-198. <https://doi.org/10.1016/j.proci.2020.11.006>
- Marr, J., Wilkin, F.P. 2012.** A better presentation of Planck's radiation law. American Journal of Physics, 80(5): 399-405. <https://doi.org/10.1119/1.3696974>
- MINVU (Ministerio de Vivienda y Urbanismo). (2024).** Avances y desafíos en el acceso a las viviendas adecuadas, barrios informales y asentamientos improvisados en Chile. Análisis del indicador ODS 11.1.1 Casen 2022. Centro de Estudios de Ciudad y Territorio. Santiago, Chile. 36 p.
- Modest, M.F. (2003).** Radiative heat transfer. Second Edition. Academic Press. San Diego, California. 822 p.
- Moreno-Gonzalez, R., Giesecke, T. & Fontana, S.L. (2021).** Fire and vegetation dynamics of endangered *Araucaria araucana* communities in the forest-steppe ecotone of northern Patagonia. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 567 (110276). <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2021.110276>
- Morvan, D. (2011).** Physical phenomena and length scales governing the behaviour of wildfires: A case for physical modelling. Fire Technology, 47: 437-460. <https://doi.org/10.1007/s10694-010-0160-2>
- Penn, I. (Jan 10). (2025).** Los Angeles utilities' decisions to keep power on are scrutinized. The New York Times. <https://www.nytimes.com/2025/01/10/us/california-fires-la-power.html>
- Philpot, C., C.Schechter, Bartuska, A., Beartusk, K., Bosworth, D., Coloff, S., Douglas, J. et al. (1995).** Federal wildland fire management policy and program review. Final Report. U.S. Department of the interior, U.S. Department of Agriculture. Boise, Idaho. 78 p
- Rodríguez, R., Espinosa, M., Hofmann, G. & Marchant, M. (2003).** Needle mass, fine root and stem wood production in response to silvicultural treatment, tree size and competitive status in radiata pine stands. Forest Ecology and Management, 186(1-3): 287-296. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(03\)00300-1](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(03)00300-1)
- Rodríguez, R. (2011).** Modelación del comportamiento del fuego y optimización de recursos para el combate de incendios forestales simultáneos y/o catastróficos en la Región del Biobío. CONAF, Unidad de Estudios. Concepción, Chile. 18 p.
- Samper, D. (2022).** Diseño de áreas cortafuego según las distancias de separación segura en función de la radiación emitida por el combustible existente. In 8° Congreso Forestal Español. La ciencia forestal y su contribución a los objetivos de desarrollo sostenible. Sociedad Española de Ciencias Forestales. 27 de junio al 1 de julio de 2022. Cataluña, España. 22 p.
- Schullery, P. (1989).** Yellowstone fires: a preliminary report. Northwest Science, 63: Pp: 44-54. <https://hdl.handle.net/2376/1686>
- Tan, Z., Midgley, S. & Douglas, G. (2005).** A computerized model for bushfire attack assessment and its applications in bushfire protection planning. In 16 Congress of the Modeling and Simulation, Society of Australia and New Zealand (MODSIM 05), 12-15 December 2005, Melbourne, Australia. p. 538-545.
- Tedim, F., Leone, V., Amraoui, M., Bouillon, C., Coughlan, M.R., Delogu, G.M., Fernandes, P.M. et al. (2018).** Defining extreme wildfire events: difficulties, challenges, and impacts. Fire, 1(1): 9. <https://doi.org/10.3390/fire1010009>

- Urrutia-Jalabert, R., Barichivich, J., Szejner, P., Rozas, V. & Lara, A. (2023). Ecophysiological responses of *Nothofagus obliqua* forests to recent climate drying across the Mediterranean-Temperate biome transition in south-central Chile. Journal of Geophysical Research:Biogeosciences, 128(4): 1-18.
<https://doi.org/10.1029/2022JG007293>
- Wang, W., Wang, X., Flannigan, M.D., Guindon, L., Swystun, T., Castellanos-Acuna, D., We, W. et al. (2025). Canadian forests are more conducive to high-severity fires in recent decades. Science, 387(6729): 91-97.
<https://doi.org/10.1126/science.ado1006>
- Waring, R.H. 1987. Characteristics of trees predisposed to die. BioScience, 37(8): 569-574.
<https://doi.org/10.2307/1310667>