



SABER, arte y técnica

Minerva. Saber, arte y técnica

AÑO 9 • VOL. 2 • DICIEMBRE 2025

Dossier Educación Media a Distancia

<https://id.caicyt.gov.ar/ark:/s25456245/8vrrr8q5g>

ISSN en línea 2545-6245

ISSN impreso 2591-3840

IUPFA

Comportamiento ante el fuego del aislamiento de celulosa. Lecciones aprendidas y consideraciones operativas para bomberos

MILTON DAVID MARABOLI*

Bomberos Voluntarios de Villa La Angostura, Neuquén, Argentina

maraboli.milton.david@gmail.com

RECIBIDO: 16 DE JULIO DE 2025

ACEPTADO: 23 DE AGOSTO DE 2025

Resumen

El aislamiento de celulosa, fabricado en su mayoría a partir de materiales reciclados, ha ganado popularidad por sus propiedades térmicas, acústicas y su bajo impacto ambiental. Sin embargo, su comportamiento ante el fuego presenta características particulares que deben ser comprendidas, analizadas y estudiadas tanto en el ámbito constructivo como en la respuesta operativa de los cuerpos de bomberos. A partir del análisis de cuatro incidentes ocurridos en Villa La Angostura (Neuquén, Argentina) entre 2021 y 2025, este trabajo ofrece un abordaje descriptivo que reúne las principales lecciones aprendidas, integrando antecedentes técnicos y normativos de relevancia. Se destacan los riesgos asociados a la combustión lenta (*smoldering*), la posibilidad de reactivaciones tardías, la posibilidad de reactivaciones tardías y las implicancias específicas del uso de celulosa como aislante, junto con recomendaciones tácticas para una intervención segura y eficaz en estructuras con este tipo de aislamiento.

Palabras clave: Celulosa; aislamiento; incendio; *smoldering*; fuego oculto; bomberos; retardantes; llama; reactivación de incendios; Villa La Angostura

Fire Behavior of Cellulose Insulation. Lessons Learned and Operational Considerations for Firefighters

Abstract

Cellulose insulation, manufactured mostly from recycled materials, has gained popularity due to its thermal and acoustic properties as well as its low environmental impact. However, its fire behavior presents particular characteristics that must be understood, analyzed, and studied both in the field of construction and in the operational response of fire departments. Based on the analysis of four incidents that occurred in Villa La Angostura (Neuquén, Argentina) between 2021 and 2025, this work provides a descriptive approach that compiles the main lessons learned, integrating relevant technical and regulatory background. The study highlights the risks associated with smoldering combustion, the possibility of delayed reactivations, and the specific implications of cellulose insulation use, together with tactical recommendations for safe and effective intervention in structures containing this material.

Keywords: Cellulose; insulation; fire; smoldering; hidden fire; firefighters; retardants; flame; fire reactivation; Villa La Angostura

Introducción

El uso de aislamiento de celulosa se ha incrementado a partir de la necesidad de mejorar la eficiencia energética y promover el uso de materiales reciclados. Compuesta hasta en un 85% por papel reciclado, varían los porcentajes de acuerdo con los fabricantes, la celulosa es tratada con retardantes como boratos y sulfato de amonio, otorgándole una Clasificación de Fuego Clase 1. En Villa La Angostura, Provincia del Neuquén, el uso de este material ha ido en incremento. Se instala, principalmente, en techos y paredes, ofreciendo buenas propiedades térmicas y acústicas, de acuerdo con los estándares de construcción y exigencias climáticas propias de esta zona.

Si bien presenta un buen desempeño en ensayos normalizados de resistencia al fuego, su estructura densa y su capacidad de aislamiento térmico generan desafíos específicos durante incendios, particularmente en lo que respecta a la detección y control de focos ocultos de *smoldering*. La celulosa, debido a su alta porosidad y baja densidad, actúa como un “autoaislante térmico” capaz de retener calor en su interior por días o incluso semanas. Investigaciones de Thomas J. Ohlemiller en el National Bureau of Standards demostraron que este material, incluso tratado con retardantes, puede sostener procesos de combustión sin llama en capas densas y con ventilación limitada. En este documento también mencionare normas como ASTM E84 e IRAM 11910, que establecen criterios para la propagación de llama y la producción de humo.

El aislamiento térmico en las edificaciones modernas ha evolucionado hacia alternativas más sostenibles, en este marco, la celulosa es un material ampliamente difundido y en gran auge. El uso de *aislamiento de celulosa* (Figura N°1) se ha incrementado a partir de la necesidad de mejorar la eficiencia energética y promover el uso de materiales reciclados, alineándose con las políticas de sostenibilidad y economía circular.



Figura N° 1. Aislamiento de Celulosa instalado en techo.
Fuente: Publicación empresa local (Prohouse - Aislación Ecológica).

El aislamiento de celulosa está compuesto en su mayoría por papel reciclado posconsumo, alcanzando aproximadamente un 85% del total de su formulación, aunque los porcentajes pueden variar según el fabricante.

Para dotarlo de propiedades ignífugas (o retardantes), se lo trata con retardantes de llama, principalmente boratos (como el borato de sodio o ácido bórico) y sulfato de amonio. Estos aditivos actúan inhibiendo o retardando la propagación de la llama, formando una capa carbonosa que aísla térmicamente el material y liberando gases no combustibles que diluyen el oxígeno en la zona de combustión. Esta combinación le otorga su clasificación de *fuego*, conforme a normas como ASTM E84 (Índice de Propagación de Llama) e IRAM 11910. Esto significa que presenta una baja propagación de llama y contribuye en mínima medida al desarrollo inicial del fuego. No obstante, la efectividad de este tratamiento depende del tipo de aplicación (seco o húmedo), la distribución de los aditivos, la exposición a humedad ambiental y el envejecimiento del material en condiciones reales de uso.

Además de sus propiedades térmicas, acústicas y de resistencia al fuego, la celulosa es valorada por su capacidad de rellenar cavidades irregulares, su bajo costo relativo y su contribución al aislamiento acústico, factores que han

favorecido su implementación en proyectos de obras nuevas en la localidad de Villa La Angostura.

Dentro de esos desafíos, uno de los fenómenos más relevantes es el denominado *smoldering* (combustión lenta). Según DeHaan e Icove (2021b), en su análisis de los mecanismos de ignición y propagación, se la reconoce como una de las formas más persistentes y difíciles de detectar la combustión, debido a su baja temperatura, escasa producción de llama y tendencia a desarrollarse en materiales porosos. Durante el *smoldering*, se produce pirólisis del material, es decir que el material se descompone térmicamente sin la presencia de una llama visible (Figura N° 2). Este proceso ocurre en condiciones de ventilación limitada, donde la cantidad de vapores combustibles generados no es suficiente para sostener una llama. Además, la baja concentración de oxígeno provoca una alta producción de monóxido de carbono, superando la cantidad generada en una combustión con llama visible. El *smoldering* puede mantenerse por largos períodos y, en determinadas condiciones, puede evolucionar hacia una combustión con llama o permanecer oculto como foco ígneo latente, representando un riesgo significativo de reactivación en incendios estructurales.



Figura N° 2. Principio de Incendio de vivienda en obra, avance en un 30%, entre techo de dos aguas aisladas con celulosa. Bomberos realizan ataque directo con remoción de chapas. Las tareas de extienden por más de 3 horas.
Fuente: Gentileza Bomberos Voluntarios Villa La Angostura.

A nivel nacional, diversas normas IRAM establecen los requisitos y ensayos para evaluar la reacción al fuego de los materiales de construcción. La IRAM 11910, por ejemplo, fija criterios sobre propagación de llama y producción de humo, mientras que la IRAM 3501 aborda la clasificación de productos aislantes, según su comportamiento térmico y de combustión. Aunque estas normas se orientan a la certificación de productos, su correcta interpretación resulta fundamental para los bomberos que deben enfrentar siniestros donde estos materiales están involucrados.

Este trabajo se plantea como un análisis técnico-operativo y descriptivo que se centra en el aislamiento de celulosa y su comportamiento frente al fuego. La información utilizada proviene de partes oficiales de intervención de la Central 005 de Bomberos Voluntarios de Villa La Angostura, registros fotográficos de los siniestros, tanto de los aportados por esa central como los extraídos de páginas periodísticas locales digitales, y entrevistas a jefes de servicio y de Cuerpo Activo, complementada con antecedentes técnicos y normativos. En cada caso, se describió la ubicación del aislante, el método de aplicación, el tiempo de trabajo requerido para la extinción y la presencia o no de reactivaciones posteriores. El presente trabajo tiene por objetivo describir el comportamiento ante el fuego del aislamiento de celulosa en casos documentados en Villa La Angostura y proponer recomendaciones operativas para su abordaje por parte de los cuerpos de bomberos, contribuyendo a la generación de pautas técnicas que mejoren la seguridad en la intervención y la gestión de residuos derivados.

Comportamiento ante el fuego

La celulosa tratada con retardantes no es propensa a la ignición espontánea. Ensayos bajo la norma ASTM C739 y la prueba de flujo radiante crítico (ASTM E970) demuestran que requiere la presencia de una llama directa para iniciar la combustión. Además, los ensayos ASTM E84 (índice de propagación de llama) indican resultados notablemente bajos, con índices inferiores a 15, comparado con 100 en el caso de la madera de roble. Sin embargo, su mayor desafío radica en la combustión lenta. Durante los incendios, la celulosa puede mantener zonas incandescentes no visibles, capaces de reavivar el fuego incluso horas o días después de la extinción aparente. La estructura densa del material dificulta que las cámaras térmicas detecten focos calientes, lo que exige inspección física exhaustiva.

En experiencias recientes, la Central 005 de Bomberos Voluntarios de Villa La Angostura (Neuquén, Argentina) ha registrado al menos cuatro siniestros en los cuales el aislamiento de celulosa ha sido protagonista, durante el período 2021-2025. Sin entrar en valores respecto al origen o causas de los incendios, en tres de esos casos, se constató la reactivación de focos ígneos entre tres y siete días después del siniestro inicial, a partir de material remanente con combustión latente, siendo determinado mediante la observación directa de los interventores. En otro caso, la reactivación ocurrió a los dos días, cuando se incendió un contenedor de escombros que contenía restos de material aislante

afectado por el incendio (Figura N° 3), también conforme las entrevistas al personal afectados como primeros respondientes.



Figura N° 3. Incendio de contenedor con residuos post-incendio.
Fuente: <https://www.laangosturadigital.com.ar/2025/03/18/bomberos-controlaron-el-fuego-en-un-contenedor-con-desechos-de-obra/>

Estos eventos refuerzan la necesidad de comprender el comportamiento del *smoldering* y la importancia de las tareas de remoción y enfriamiento exhaustivo, tanto en las estructuras afectadas como en el manejo posterior de los restos y residuos originados, así como su posterior almacenamiento o disposición final. Este evento permite descartar deficiencias en los procedimientos de extinción inicial, así como su agente extintor, agua. Tal como indican DeHaan e Icove (2021a), la combustión latente suele desarrollarse en condiciones de baja ventilación y con materiales porosos que conservan calor durante largos períodos, lo que demanda estrategias de inspección más rigurosas y un monitoreo térmico sostenido tras la extinción.

El aumento de las estructuras sustentables, *amigables con el ambiente*, acompañada por las políticas públicas ambientales de la Localidad de Villa La Angostura, y lo que algunos sectores describen como una *vaca muerta* de la industria inmobiliaria, en alusión al auge expansivo de nuevos desarrollos habitacionales, han hecho que las construcciones se realicen con materiales modernos que permitan una agilidad y aceleración exponencial de armado de estas estructuras, en las que priman la utilización de paneles preensamblados, tirantearías de madera, *steel frame*, placas de yeso, y todos los materiales de la industria *construcción en seco* (Figura N° 4).



Figura N° 4. 3:34 h - Incendio en vivienda en obra, entre techo aislado con celulosa. Las unidades se retiran a las 7:45 h. Luego, en horas de la tarde, intervienen nuevamente por un llamado de emergencia por reinicio. Aproximadamente, se aplicaron 70.000 litros de agua.
Fuente: Gentileza Bomberos Voluntarios de Villa La Angostura.

Esto ha llevado a la incursión de otros materiales para el aislamiento y eficiencia energética. En este proceso, casi se ha dejado de lado la utilización de lana de vidrio y se abrió paso a la utilización de espumas proyectadas de poliuretano, y la implantación de celulosa en sus diversos métodos de aplicación (Figura N° 5).



Figura N° 5: Muestra de celulosa. Inicio de fuego controlado fuera de una estructura. El smoldering, crea una capa superficial sin decoloración, sin embargo, debajo el material comienza a pirolizar de manera imperceptible.

Consideraciones operativas para Bomberos

Los cuerpos de bomberos deben abordar los siniestros en estructuras que incorporan aislamiento de celulosa aplicando procedimientos específicos –bien entrenados– basados tanto en la experiencia práctica como en el conocimiento detallado de las propiedades particulares de este material. A diferencia de otros aislantes, la celulosa puede ocultar focos ígneos latentes, debido a su estructura porosa y su capacidad de conservar calor en su interior.

En este contexto, el uso nuevas tecnologías, como las cámaras térmicas, se convierte en una herramienta esencial para la detección de puntos calientes, pero su efectividad se ve limitada si no se complementa con inspección física directa y remoción manual del material comprometido mediante el uso de herramientas típicas de los cuerpos de bomberos para la extinción y remoción adecuadas, como ganchos, palas, bicheros, halligan, entre otras.

Es fundamental que las inspecciones se extiendan a toda la envolvente estructural de la zona afectada, incluyendo techos, entretechos, paredes y espacios confinados donde el material aislante pueda estar presente. Aquí se presenta un punto importante, al arribo de la o las unidades, se entreviste a los ocupantes/propietarios para realizar un breve intercambio de información, donde, además de indagar respecto a posibles víctimas o atrapados, se contemple una pregunta relacionada al tipo de aislante con el que cuenta la vivienda. La celulosa, al poseer baja conductividad térmica, puede mantener la persistencia de zonas con *smoldering* de difícil detección superficial. Este fenómeno incrementa el riesgo de reactivaciones incluso varios días después del evento. Por esta razón, las labores de remoción deben ser sistemáticas y progresivas, asegurando la eliminación total de los residuos comprometidos en la combustión. Asimismo, el monitoreo térmico continuo y la evaluación visual exhaustiva, para así garantizar la extinción completa y la seguridad posterior de la estructura.

Durante la fase de remoción y enfriamiento, es fundamental retirar sistemáticamente el material aislante alrededor de la zona afectada, priorizando aquellas áreas donde las inspecciones térmicas o visuales identifiquen puntos calientes, cambios de coloración o signos de combustión latente. La remoción debe extenderse de forma progresiva, evaluando permanentemente el comportamiento térmico de los materiales, hasta garantizar la total eliminación de residuos susceptibles de mantener focos ígneos ocultos. Según Quintiere (2016), los fenómenos de combustión lenta en materiales porosos, como los aislantes celulósicos, requieren estrategias de intervención basadas en la detección profunda y la remoción exhaustiva de los materiales comprometidos, debido a la alta probabilidad de reactivaciones en ausencia de una eliminación completa.

Si durante la inspección se detectan focos calientes o material comprometido, el área de remoción debe ampliarse progresivamente hasta garantizar la total eliminación de los residuos susceptibles de mantener *smoldering* (Figuras N° 6 y 7). Según DeHaan e Icove (2021), los aislamientos de origen celulósico, debido a su estructura densa y baja conductividad térmica, pueden mantener zonas de

combustión latente durante largos períodos, por lo que las tareas de remoción deben ser exhaustivas y prolongadas, incorporando monitoreo térmico posterior al retiro.

El uso de aspiradoras industriales diseñadas para manipulación de aislamiento representa una ventaja significativa en incendios con celulosa, ya que minimiza los daños estructurales, permite la remoción profunda y acelera el proceso (Cellulose Insulation Manufacturers Association, 2023; Firefighter Nation, 2014). En su defecto, se puede recurrir a herramientas manuales, aunque esto aumenta la exigencia operativa y el tiempo de intervención.



Figura N° 6. Incendio declarado de vivienda de dos plantas. Aislamiento de paredes y techos con celulosa. Bomberos realizan la apertura de techo de ambas pendientes de techo para remoción y ataque directo con línea de alto caudal, con chorro pleno para romper la estructura pirolizada. Fuente: Gentileza Bomberos Voluntarios Villa La Angostura.

Es relevante comprender que la coloración oscura de la celulosa no siempre indica combustión, es imprescindible confirmar la presencia de calor o daño estructural antes de proceder. En el caso de incendios ocultos (o incipientes), especialmente sobre cielorrasos o muros, se deben desmontar techos o paredes para acceder a las áreas comprometidas.

También es necesario tener en cuenta la posibilidad de que el *smoldering* se extienda a lo largo de instalaciones eléctricas, cables o estructuras de yeso-cartón, lo que demanda una revisión aún más prolongada.



Figura N° 7. Tareas de remoción de chapas. Puede observarse que la celulosa se mantenía combustionando debajo de las chapas, en las zonas donde se presumía habría comenzado el incendio.

Consideraciones especiales para el manejo de residuos contaminados

Los residuos resultantes de la remoción de aislamiento de celulosa tras un incendio representan un riesgo significativo, tanto por su potencial de reactivación como por su contribución a la carga de fuego si no se manipulan adecuadamente.

El material retirado puede contener focos latentes de *smoldering*, difíciles de detectar en una inspección superficial, lo que exige la implementación de procedimientos estrictos de almacenamiento, transporte y disposición final, y aquí es donde la legislación vigente tiene vacíos, pues nadie efectúa un control sobre los materiales provenientes de incendios estructurales hacia el vertedero municipal, al menos en la localidad de estudio. Esto no solo pone en jaque la propia seguridad del vertedero y a sus empleados, sino que contribuye al aumento del riesgo de incendios de interfase, por la proximidad de esta infraestructura con los bosques y la localidad misma.

Los estudios realizados por Thomas J. Ohlemiller en el National Bureau of Standards aportan evidencia clave sobre el comportamiento térmico del aislamiento celulósico en condiciones de combustión lenta. Su investigación demostró que, incluso cuando está tratado con retardantes de llama, como el ácido bórico, el aislamiento de celulosa puede sostener procesos de combustión sin llama durante períodos prolongados, especialmente cuando se encuentra en capas densas, poco ventiladas y con acceso limitado a oxígeno. Estas condiciones permiten la acumulación de calor interno y dificultan su disipación, favoreciendo la permanencia del proceso de oxidación a baja temperatura.

Ohlemiller (1986) identificó que materiales como la celulosa, debido a su alta porosidad y baja densidad, presentan una elevada relación superficie/masa, lo que

los hace altamente vulnerables al *smoldering*. En espesores superiores a los 3 cm, el material actúa como un *autoaislante térmico*, reteniendo calor en su interior por días o incluso semanas. Este fenómeno se agrava porque la combustión latente en celulosa genera partículas de humo de pequeño tamaño (2 a 3 micrones), poco detectables por sensores convencionales de humo por ionización, lo que dificulta la identificación temprana de rearbolumientos. Además, en ciertos escenarios, el *smoldering* puede evolucionar a combustión con llama si se ve favorecido por flujos de aire ascendentes o por estructuras que confinen el calor.

Estos hallazgos refuerzan la necesidad de una remoción total y profunda del aislamiento de celulosa afectado por fuego, incluso si la superficie presenta signos aparentes de enfriamiento. La evaluación superficial resulta insuficiente, y se requiere un abordaje sistemático que contemple inspección térmica con cámaras infrarrojas, remoción en capas y seguimiento térmico posterior a la intervención. El conocimiento del comportamiento del *smoldering* no solo debe guiar la labor investigativa post-siniestro, sino también las prácticas de extinción y seguridad operativa durante la fase de remoción y limpieza.

Por último, los residuos retirados deben manipularse bajo ciertas medidas de seguridad, pueden observarse los residuos en la Figura N° 8, que luego fueron llevado al contenedor de la Figura N° 3. Los escombros contaminados pueden ser fuente de una reactivación térmica si no se almacenan o eliminan adecuadamente, tal como ocurrió en el caso registrado en Villa La Angostura, donde el contenedor de escombros se incendió tres días después del siniestro.



Figura N° 8. Obsérvese los residuos sobre la mesada, celulosa con decoloración parcial. Se registran restos sin combustionar dentro de una misma masa.
Fuente: Gentileza Bomberos Voluntarios Villa La Angostura.

Para mitigar este riesgo, los materiales retirados deben mantenerse alejados de edificaciones, fuentes de calor o residuos secos, almacenándose preferentemente en espacios abiertos, controlados y sobre superficies no combustibles. Se recomienda humedecer los escombros abundantemente durante su recolección y antes de su traslado, minimizando la presencia de material incandescente. Además, cualquier depósito temporal debe señalizarse adecuadamente e informar a las cuadrillas de recolección, transporte o disposición final sobre la posible presencia de material con combustión latente.

Asimismo, dada la experiencia de la central 005, se sugiere realizar monitoreos periódicos de temperatura en los residuos almacenados durante al menos 72 horas posteriores al siniestro, utilizando cámaras térmicas. La correcta gestión de estos materiales no solo reduce el riesgo de reactivaciones, sino que también contribuye a la seguridad de los trabajadores y de la comunidad en general.

Frente a este escenario, es indispensable que los municipios y las autoridades ambientales actualicen la normativa vigente, incorporando requisitos específicos para el tratamiento, traslado y disposición final de los residuos derivados de incendios, en particular aquellos que contienen materiales con riesgo de *smoldering*. Del mismo modo, se requiere la capacitación de los operadores de vertederos y empresas de recolección, quienes deben contar con los conocimientos y recursos necesarios para identificar, manipular y aislar adecuadamente este tipo de escombros, previniendo así siniestros secundarios que comprometan tanto la infraestructura crítica como el entorno natural.

Conclusión

La celulosa como material aislante representa una alternativa eficiente desde el punto de vista térmico, económico y ambiental, pero su comportamiento frente al fuego impone desafíos específicos que deben ser abordados con seriedad. A pesar de que cumple con estándares de resistencia al fuego bajo condiciones controladas de laboratorio, este trabajo es el primero en documentar, con casos locales en la Argentina, que su estructura porosa, su capacidad para conservar calor y su potencial para desarrollar fenómenos de *smoldering* la convierten en un riesgo operativo relevante durante y después de un incendio.

Los cuatro casos ocurridos en Villa La Angostura entre 2023 y 2025 revelan que, incluso luego de tareas de extinción extensivas, aparentemente exitosas, pueden presentarse reactivaciones térmicas tardías o siniestros secundarios relacionados con residuos mal gestionados. Esta evidencia exige repensar los protocolos (o procedimientos) tradicionales de intervención, remoción, monitoreo y disposición final de los materiales afectados. La intervención en estructuras con celulosa no puede limitarse al control de las llamas visibles, pues requiere una planificación extendida que contemple la detección de focos ocultos, la remoción en profundidad del aislante, el monitoreo térmico prolongado y el almacenamiento seguro del material retirado. Estos requerimientos operativos se encuentran respaldados por investigaciones realizadas por Thomas J.

Ohlemiller en el National Bureau of Standards, quien demostró que la celulosa, incluso tratada con retardantes, puede mantener procesos de combustión lenta durante días o semanas en capas densas y mal ventiladas. Su alta porosidad, baja densidad y capacidad de retener calor hacen que este material actúe como un autoaislante térmico, dificultando su enfriamiento y facilitando reactivaciones ocultas si no se remueve por completo.

Además de las implicancias operativas, este fenómeno expone vacíos en la legislación ambiental y de gestión de residuos. Actualmente, en muchos municipios no existe una normativa que regule el destino de materiales potencialmente peligrosos retirados de incendios estructurales. Este vacío pone en riesgo no solo la seguridad del personal que trabaja en los vertederos municipales o plantas de transferencias de residuos, sino también a la infraestructura crítica y al entorno natural, especialmente en zonas de interfase urbano-forestal.

Frente a este escenario, es imprescindible que los gobiernos locales y provinciales trabajen en conjunto con bomberos, colegios profesionales y autoridades ambientales, en sus distintos niveles, para desarrollar marcos normativos específicos que contemplen el ciclo completo de riesgo vinculado al uso de celulosa como aislante. Asimismo, se recomienda elaborar guías técnicas de alcance local, regional y/o nacional, para la intervención en siniestros donde este material esté presente, así como programas de capacitación continua para todos los actores intervinientes, bomberos, personal de emergencias, operadores de residuos, y profesionales de la construcción.

Finalmente, este trabajo propone que se integre una guía de buenas prácticas, basada en evidencia empírica y normativa vigente, a los planes de gestión del riesgo de incendios estructurales e interfase. Dicha guía debería incluir criterios de evaluación posterior a los siniestros, lineamientos sobre monitoreo térmico de residuos, recomendaciones sobre almacenamiento y transporte de escombros, y un protocolo específico para la disposición segura del material. Solo a través de un abordaje integral y multidisciplinario será posible garantizar una respuesta eficaz y segura ante este tipo de riesgos emergentes en la edificación moderna.

El fuego no siempre se apaga cuando desaparece la llama: en el caso de la celulosa, lo que no se ve, también puede arder.

Bibliografía

ASTM International (s.f.). *Normas de ensayo de materiales aislantes: ASTM C739, ASTM E970, ASTM E84 y ASTM E119*. <https://www.astm.org/>

Borax (s.f.). *Borates for fire retardancy in cellulosic materials*. <https://www.borax.com/BoraxCorp/media/Borax-Main/Resources/Technical-Bulletin/borates-fire-retardancy-cellulosic-materials.pdf>

Cellulose Insulation Manufacturers Association (CIMA) (2023). *Cellulosic insulation product information as it relates to firefighting techniques*. <https://cellulose.org/wp-content/uploads/2023/02/Cellulosic-Insulation-Product-Information-as-it-Relates-to-Firefighting-Techniques.pdf>

- Cellulose.org (s.f.). *Firefighters guide for cellulose insulation building fires*. <https://cellulose.org/firefighters-guide-for-cellulose-insulation-building-fires/>
- DeHaan, J. D. y Icove, D. J. (2021a). *Scientific protocols for fire investigation* (2.^a ed., pp. 54–56). CRC Press.
- DeHaan, J. D. y Icove, D. J. (2021b). *Kirk's fire investigation* (8.^a ed.). Pearson.
- Firefighter Nation (2014). *Fire & cellulose insulation*. <https://www.firefighternation.com/training/fire-cellulose-insulation/>
- Houle Insulation (s.f.). *Cellulose insulation & fire safety*. <https://www.houleinsulation.com/fire.html>
- International Code Council (ICC) (s.f.). *International residential code and international building code*.
- Kauffman Co. (s.f.). *Insulation and fire protection*. <https://www.kauffmanco.net/blog/insulation-fire-protection/>
- LM Neuquén (2025). *Incendio en Villa La Angostura: bomberos combatieron el fuego por más de 5 horas hasta apagarlo*. <https://www.lmneuquen.com/neuquen/incendio-villa-la-angostura-bomberos-combatieron-el-fuego-mas-5-horas-apagarlo-n1079376>
- Ohlemiller, T. J. (1986). *Smoldering combustion* (NBSIR 85-3294). National Bureau of Standards, U.S. Department of Commerce. <https://doi.org/10.6028/NBS.IR.85-3294>
- Quintiere, J. G. (2016). *Principles of fire behavior* (2.^a ed.). CRC Press.

Cita sugerida: Maraboli, M.D. (2025). Comportamiento ante el Fuego del Aislamiento de Celulosa. Lecciones aprendidas y consideraciones operativas para Bomberos. *Minerva. Saber, arte y técnica*, 9(22). Instituto Universitario de la Policía Federal Argentina (IUPFA), pp. 162-175.

***MARABOLI, MILTON DAVID**

Licenciado en Higiene y Seguridad (UFASTA) y maestrando en Ambiente y Desarrollo Sustentable en la Universidad Nacional de Quilmes. Diplomado en Emergencia con Materiales Peligrosos por la UTN y diplomado en Dinámica de Incendios por el Capítulo 79 de la IAAI Hispanoamericano. Subsecretario de Seguridad de Villa La Angostura, Provincia de Neuquén, Argentina. Bombero Voluntario, Perito y Profesor. Experiencia en la investigación de accidentes laborales, enfermedades profesionales y procesos judiciales. Integré la Policía de la Provincia del Neuquén y actualmente soy parte del Cuerpo Activo de Bomberos Voluntarios de Villa La Angostura. Mi trayectoria combina la gestión de la seguridad, la sostenibilidad ambiental, la docencia y la investigación aplicada.