



2022  
Lleida

27 · 1  
junio · juny  
juliol · juliol

Cataluña  
Catalunya

## 8º CONGRESO FORESTAL ESPAÑOL

La **Ciencia forestal** y su contribución a  
los **Objetivos de Desarrollo Sostenible**

8CFE

Edita: Sociedad Española de Ciencias Forestales

**Cataluña | Catalunya · 27 junio | juny - 1 julio | juliol 2022**

**ISBN 978-84-941695-6-4**

© Sociedad Española de Ciencias Forestales



Organiza

## Mi casa en el monte: de elemento de alto riesgo a zona segura para los equipos de extinción

GONZÁLEZ OCHOA, A.I.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Consejería de Desarrollo Sostenible. Plan de Incendios Forestales de Castilla-La Mancha (INFOCAM). Gobierno de Castilla-La Mancha.

### Resumen

El riesgo de incendio forestal (IF) que presenta una vivienda en monte viene determinado por el peligro de que se inicie y propague un IF y por la vulnerabilidad frente a la ignición que presenta la vivienda. Conociendo el futuro comportamiento del fuego en la vegetación forestal que rodea la vivienda, podemos reducir el riesgo de incendio forestal, disminuyendo el peligro de incendio, mediante tratamientos de eliminación de parte de esa vegetación, mediante el diseño unas Áreas de Protección de Infraestructuras que nos permitan reducir la cantidad de combustible ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ) y, como consecuencia, el calor producido por el frente del incendio ( $\text{KW}/\text{m}^2$ ). Además de esto, es importante incorporar en la vivienda una serie de elementos de protección pasiva frente al fuego que reduzcan su vulnerabilidad por efecto de la radiación, convección y posible llegada de focos secundarios o pavesas. Finalmente, se consideran unas medidas preventivas para la protección de las personas confinadas en la vivienda, frente al humo producido en caso de incendio forestal, al margen de que el frente de llama amenace o no a la edificación.

### Palabras clave

Riesgo de incendio forestal, peligro de incendio forestal, vulnerabilidad, interfaz urbano forestal, áreas de protección de infraestructuras (API), tratamientos preventivos contra incendios, calor por radiación, modelos de combustible, elementos de protección pasiva en edificaciones, pavesas, focos secundarios, humo producido por incendio forestal, autoprotección.

## 1. Introducción

Las viviendas y otras instalaciones ubicadas en monte y zonas de interfaz urbano forestal se convierten a menudo en el primer objetivo de los Planes de Operaciones que se elaboran durante la extinción de los incendios forestales en nuestro país. La normativa de protección civil determina que las prioridades de protección son personas, bienes y medio ambiente. Esto a menudo supone alterar el Plan de Operaciones, respecto al que plantearíamos considerando exclusivamente el comportamiento esperado del fuego atendiendo a lo que determina su física: topografía, combustible y tiempo atmosférico. Las consecuencias muchas veces son un mayor número de hectáreas quemadas y, por lo tanto, un mayor coste económico en extinción y restauración para las Administraciones Públicas. Es necesario, por lo tanto, buscar herramientas que reduzcan la vulnerabilidad de estas instalaciones para evitar que condicionen las operaciones que se plantean para la extinción de los incendios. La herramienta que nos ayudará a minimizar su impacto en la extinción, y a la vez pueda garantizar la vida de sus ocupantes, son los Planes de Autoprotección de Incendio Forestal (PAIF).

Los PAIF son responsabilidad de los titulares de las viviendas en zonas de monte, y tienen por objeto evitar la generación o propagación de incendios forestales, facilitar las tareas de extinción por los servicios públicos, y garantizar la posible evacuación de las personas ocupantes de la instalación. Esto significa, que una vivienda con un PAIF bien diseñado, podría considerarse más bien como una zona segura para los equipos de extinción, en vez de un condicionante en el diseño del Plan de Operaciones. Pero ¿Cómo planteamos el diseño de las actuaciones a realizar? ¿Qué alcance tiene que tener esta intervención sobre el combustible exterior a nuestra vivienda? ¿Cuándo las medidas

propuestas son suficientes y serán eficaces? ¿Qué elementos podemos añadir desde el proyecto en nuestra vivienda para que sea menos probable su ignición por pavesas o focos secundarios? ¿Estaremos protegidos en su interior si la columna de humo del incendio alcanza nuestra vivienda? La respuesta a estas preguntas hay que buscarla en los numerosos estudios técnicos a nivel internacional que existen sobre emisión de calor en caso de incendio forestal. Hay que extraer de los mismos información clave sobre niveles de radiación, modelos de combustible, límites de calor tolerable por el cuerpo humano, distancias, condiciones meteorológicas en escenarios desfavorables. A partir de este conocimiento necesitamos proponer una metodología sencilla y fácil de aplicar, que nos indique cuándo un PAIF será eficaz y cumplirá sus objetivos.

El estudio de la física del comportamiento del fuego forestal permite conocer con bastante precisión qué cantidad de calor se va a producir en caso de incendio en una zona forestal determinada. Esta idea adquiere una aplicación práctica incuestionable en el ámbito de la reducción del riesgo de incendios forestales, y especialmente en la reducción de la vulnerabilidad frente al incendio de las viviendas en zonas de monte o de interfaz urbano forestal. Se trata de diseñar Áreas de Protección de Infraestructuras (APIs) para nuestra vivienda mediante tratamientos para reducir la cantidad de combustible, que en caso de incendio produjese una cantidad de calor no superior al umbral que pueden soportar los bomberos con Equipo de Protección Individual en la fachada de la vivienda. De esta manera, la vivienda habría dejado de ser un elemento vulnerable para convertirse en una zona segura, y defendible por los equipos de extinción. Además, si las características constructivas son adecuadas, podrían ser además lugares adecuados para el confinamiento. Todas estas medidas se han de definir en los Planes de Autoprotección de Incendios Forestales que se deben redactar para cada una de estas edificaciones en función del peligro, de la vulnerabilidad y en definitiva del riesgo de incendio forestal al que están sometidas de manera individual.

La herramienta que hace posible aplicar la metodología basada en el calor producido por el incendio en el diseño de las APIs, son los simuladores de incendio forestal. Éstos nos permiten, para un escenario meteorológico, unas condiciones topográficas y un modelo de combustible determinado, conocer qué incendio forestal va a amenazar cualquier vivienda ubicada en el monte.

El potencial de ignición de una infraestructura incrementa conforme su exposición es mayor a la radiación, convección y focos secundarios originados por un incendio forestal en sus alrededores. Por ello, reducir la exposición a cada uno de los factores de ignición: radiación, convección y focos secundarios debe ser el objetivo principal de las medidas a implementar. Pero ¿Cómo logramos reducir el riesgo de IF? De dos modos diferentes: en primer lugar, con el manejo de la vegetación y el resto de material combustible circundante, y en segundo lugar reduciendo las características de ignitabilidad de los materiales de la propia edificación. Además, existe un tercer elemento que debemos considerar durante el trabajo para proteger nuestra vivienda frente al incendio forestal y es la protección frente al humo que se produce durante el incendio.

## 2. Objetivos

Los objetivos de la presente comunicación son identificar una metodología para la reducción del peligro y vulnerabilidad de incendio forestal de viviendas en montes o en zonas de interfaz urbano forestal. El objetivo último será transformar el riesgo al que está sometido la edificación, que inicialmente es una zona amenazada por el incendio, a una zona segura para los equipos de extinción y sus propios ocupantes. Además, se propondrán medidas para reducir la ignitabilidad de la vivienda a través de sus elementos de protección pasiva y se plantearán actuaciones para la protección de las personas frente al humo producido por el incendio forestal.

## 3. Metodología

La metodología de la presente comunicación supone una revisión bibliográfica de publicaciones científicas y recomendaciones técnicas más recientes sobre diferentes aspectos a tener en cuenta a la hora de prevenir y planificar el efecto de los incendios forestales en las viviendas y otras edificaciones en zonas de monte. Para la mejor exposición de los resultados, se presentarán en tres apartados diferenciados, que constituyen los pilares fundamentales sobre los que es preciso realizar una gestión para reducir el riesgo de incendio forestal al que está sometida una vivienda:

1. Reducción del peligro de incendio forestal. Modificación de la cantidad de combustible. Diseño del Área de Protección de Infraestructuras.
2. Reducción de la vulnerabilidad de la vivienda frente al incendio forestal mediante sus elementos constructivos.
  - a. protección frente al calor por radiación y convección
  - b. protección frente a pavesas y focos secundarios
3. Protección frente al humo producido por el incendio forestal.

#### 4. Resultados y discusión

Los incendios forestales son una realidad en nuestros ecosistemas, y los propietarios de viviendas en el monte deben asumir la responsabilidad de convertir sus viviendas en espacios de baja ignitabilidad. Las viviendas no se deben considerarse como potenciales víctimas o pérdidas del incendio, sino también como potenciales participantes en la propagación o no del fuego cuando el frente del incendio llega a las mismas (COHEN, 2000). Además, realizando las actuaciones necesarias para ello, se pueden convertir en espacios seguros para el trabajo de los equipos de extinción y en lugares de confinamiento para sus ocupantes.

El potencial de ignición de una infraestructura incrementa conforme su exposición es mayor a la radiación, convección y focos secundarios originados por un incendio forestal en sus alrededores (COHEN & BUTLER, 1996). Las pavesas son material en combustión transportado por el aire y pueden originar igniciones si caen en la infraestructura o combustible cercano, aunque la radiación y convección que llega a la vivienda desde el frente del incendio sea insignificante. Por ello, reducir el potencial de ignición de una infraestructura implica reducir la exposición a cada factor: radiación, convección y focos secundarios. Para ello, vamos a trabajar en dos vertientes: con el manejo de la vegetación y el resto de material combustible circundante, y disminuyendo las características de ignitabilidad de los materiales de la propia edificación. Además, se propondrán pautas para la menor afección de las personas por el humo producido por el incendio forestal.

##### 3.1. Reducción del peligro de incendio forestal. Diseño de áreas de protección de infraestructuras (APIs).

La distancia de seguridad necesaria para el trabajo durante la extinción de incendios para asegurar la supervivencia de los equipos de extinción, debe tener un radio igual o mayor a 4 veces la máxima longitud de llama (BUTLER & COHEN, 1998). En estos valores sólo se considera la transmisión del calor por radiación. Hay que tener en cuenta además que estos valores garantizan la no afección a personas con EPI, ya que está calculada para la intervención durante la extinción. En el caso de los Planes de Autoprotección de viviendas, estas distancias se deben prever para personas sin ropa específica que les proteja del calor radiante, por lo que deberían ser superiores a estos valores de referencia.

La determinación de las distancias de las áreas de protección de infraestructuras podría plantearse mediante análisis de transferencias del calor de radiación originado por el incendio forestal. Aunque el calor originado por los 3 factores de ignición principales (radiación, convección y pavesas) son importantes, COHEN & BUTLER (1996) consideran que, para el propósito específico de determinar las distancias necesarias para el API, solamente el análisis de la radiación es un cálculo

apropiado y suficiente. La razón es que como consecuencia de la eliminación del combustible alrededor de la infraestructura el contacto de la llama directa con la misma no será posible ni por lo tanto la ignición por convección. Por otra parte, las pavesas pueden caer desde una distancia mucho mayor que la que tenga el diseño de la propia API y en situación en la que la transferencia de calor por radiación o convección desde el frente del incendio no sea significativa o incluso inexistente. COHEN & BUTLER (1996) concluyen que es muy improbable que se produzca la ignición de una infraestructura a partir de la radiación de las llamas a una distancia mayor de 40 m.

En las metodologías de análisis de riesgos en caso de cualquier incendio, la estimación de las consecuencias de éstos se lleva a cabo mediante la aplicación de los módulos de vulnerabilidad a la radiación térmica (BAGSTER & PITBLADO, 1989). En el caso de estudios de este tipo en incendios forestales encontramos los trabajos de BUTLER & COHEN (1998), que establecen un flujo de calor máximo tolerable para bomberos con EPI de  $7 \text{ kW/m}^2$ . Los valores propuestos por EISENBERG (1975) sobre efectos y consecuencias de diversos flujos térmicos indican que el límite tolerable para personas se considera de  $5 \text{ kW/m}^2$ , mientras CASAL ET AL. (1999) establece el valor de  $4,7 \text{ kW/m}^2$  como el límite de radiación tolerable para personas sin protección. Este umbral podría ser tenido en cuenta para la planificación de las rutas de evacuación planteadas en el PAIF. En general, se considera que no hay dolor ni efectos en las personas, en un tiempo de exposición indefinido, flujos inferiores a  $1,7 \text{ kW/m}^2$  (Casal et al., 1999).

La mayoría de las normativas y los estándares usados por todo el mundo consideran los umbrales de exposición al calor para humanos sólo basados en el flujo de calor, aunque el tiempo de exposición es también determinante. TORVI ET AL. 2000 concluyó que se produce daño tras aproximadamente 10 s de exposición a  $8 \text{ kW/m}^2$  (I). ROSSI ET AL. 2011 simuló el transporte de energía por radiación en incendios forestales para determinar la distancia de seguridad (SSD, safe security distance) considerando un límite de exposición a flujo de radiación de  $4.7 \text{ kW/m}^2$  para la piel sin protección y  $7 \text{ kW/m}^2$  para la piel protegida.

Por otra parte, COHEN & BUTLER (1996) demuestran que un flujo de radiación de  $7.0 \text{ kW/m}^2$  no significa un peligro de ignición de la infraestructura al margen del tiempo de exposición de la misma, mientras que un flujo de  $20.0 \text{ kW/m}^2$  podría producir una ignición de la madera tras 3.5 minutos.

A partir de los datos de estos estudios se concluye que el tiempo de residencia de la llama es otro factor con influencia en el peligro de incendio. Generalmente los modelos de combustible forestales de mayor relación superficie/volumen tienen un tiempo de residencia de llama mínima (ANDERSON, 1986), por lo que serán preferentes a la hora del diseño de las APIs. Es un aspecto a considerar a la hora de definir el modelo de combustible que genera el PAIF, tratando de potenciar aquellos con tiempo de residencia de llamas más bajas.

Butler (2014) establece que observaciones en fuego real y algunos diseños experimentales que se han realizado indican que cuando los fuegos se producen en pendientes, crestas o con fuertes vientos la transferencia de energía por convección puede alcanzar distancias iguales o superiores a 2 veces la longitud de llama por delante del frente del fuego. Esto implica que las guías para el cálculo de la zona de seguridad (sólo basadas en la transferencia de calor por radiación) podrían ser insuficientes en determinadas situaciones. Es necesaria más investigación sobre la influencia del calor convectivo en el IF para el diseño de las zonas de seguridad. Como consecuencia, no está claro que el calor convectivo deba ser ignorado en estos estudios. De hecho, algunos autores como Zárate et al. (2008) recomiendan incrementar en un 20% las distancias de seguridad obtenidas para trabajar en IF, debido a la consideración de la convección. Al margen de lo que señalan las últimas investigaciones, los protocolos de seguridad de USA asumen que la energía radiante transferida es el único método de transferencia de energía.

En el campo de bomberos urbanos, existen numerosos estudios que determinan diferentes condiciones térmicas en las que tienen que desarrollar su trabajo en función de la  $T^a$ , el flujo de

calor y el tiempo de permanencia en estas condiciones. Así DONNELLY ET AL. (2006) establece 4 clases que oscilan desde las condiciones más favorables, con flujos de calor ligeramente superiores a las condiciones ambientales ( $>1 \text{ kW/m}^2$ ), hasta la clase IV que representa las peores condiciones de trabajo con flujo de calor de  $>10 \text{ kW/m}^2$ . Por otra parte, Utech (1973) define 3 condiciones de trabajo, siendo el umbral de la más desfavorable de  $12 \text{ kW/m}^2$ . Estas clases sirven para estimar el potencial daño por calor que pueden sufrir los bomberos. Una vez alcanzados los umbrales de calor definidos en la última clase (10 Donnelly y 12 Utech), si éstos se mantienen en el tiempo, supondría la rotura de los EPI, y por lo tanto la desprotección física de los bomberos frente al calor en estas situaciones de trabajo, con el consiguiente daño a los mismos.

Conocidos estos umbrales de calor, es evidente que son los máximos valores que debemos alcanzar en las inmediaciones o fachadas de las infraestructuras a defender en caso de incendio forestal, y por lo tanto pueden ser valores de referencia para el diseño y dimensionamiento de las infraestructuras preventivas a incluir en los PAIF.

Por otra parte, se ha comprobado que el comportamiento general del flujo de radiación térmica posee una pendiente negativa mayor, cuanto más cerca nos situemos del frente de llama (ZARATE ET AL., 2008). Esto implica que pequeños cambios en la distancia cerca del frente del incendio son muy importantes para evitar daños (distancia  $x_1$ ), volviéndose menos importantes a medida que nos alejamos del frente (distancia  $x_2$ ). Del estudio de McGUIRE (1953) se concluye que la distancia entre el frente de llamas y el exterior de la fachada de la edificación (emisor-receptor) es más significativa que la altura de llama propiamente dicha. Esto nos apunta la importancia de realizar un buen dimensionamiento del área de protección de infraestructura.

Si una vez que se ha ejecutado el tratamiento preventivo para establecer el Área de Protección de la infraestructura alrededor de la vivienda, se realiza una nueva simulación de comportamiento del fuego y el calor producido es inferior al umbral de daño para los bomberos con EPI, podríamos asegurar que el diseño es adecuado. En este caso, ya el propio incendio generaría en el frente de llamas una cantidad de calor soportable por los bomberos con EPI y, por lo tanto, la distancia desde el frente del fuego hasta la fachada de la edificación será una distancia de seguridad adicional. Eso es así puesto que la radiación disminuye de manera inversamente proporcional a la distancia y, por lo tanto, el calor que llegará efectivamente a la fachada será menor del producido en el frente de llama. Si se cumplen estos valores, se podría concluir que la vivienda es un espacio defendible por los equipos de extinción.

Otro aspecto a considerar es que los simuladores de incendios forestales tienen importantes restricciones, como lo son asumir características uniformes cuando en sí estas características no lo son en la naturaleza, lo que influye en gran medida en los resultados de las simulaciones cuando se los compara con mapas de fuegos reales (DENHAM, 2007). Además, los parámetros de calor que estiman no consideran el calor de convección, lo que se ha considerado en ocasiones otra debilidad en el empleo de los simuladores. Sin embargo, ambos efectos quedarían eliminados en esta metodología propuesta, ya que en el diseño de las APIs comparamos dos simulaciones del calor producido por el incendio forestal en el mismo escenario meteorológico y las mismas condiciones topográficas, antes y después de realizar los tratamientos preventivos en el área de protección de la infraestructura para la vivienda.

### 3.2. Reducción de la vulnerabilidad de la vivienda frente al incendio forestal

En el ámbito de la ignición de estructuras a partir de IF se han identificado tres fuentes: pavesas o focos secundarios a partir de la vegetación por la que se va propagando el incendio (incluso a distancias superiores a varios kilómetros), la propagación directa del fuego a partir del combustible que rodea la vivienda y por exposición suficiente al calor radiactivo o convectivo, que podría originar la ignición.

Las pavesas pueden causar ignición desde varios kilómetros, pero las casas sólo se verán amenazadas si pueden producir ignición por caída directa en la vivienda, o en materiales o combustibles cercanos, que a su vez causarán la ignición de la vivienda. Los fuegos experimentales de copas han mostrado que las pavesas pueden producir la ignición de la vivienda en combustibles y matorral alrededor de la misma, pero no directamente en las paredes verticales de la estructura. Estos estudios concluyen que la ignición por pavesas depende de las características de la vivienda, especialmente el material del tejado y de la inflamabilidad de los combustibles adyacentes (COHEN, 2000).

La mayoría de las igniciones de infraestructuras en incendios de interfaz se producen por las lluvias de focos secundarios (pavesas) (citas de 1 a 3 en K). Para reducir el riesgo de ignición estructural en estas situaciones se necesitan unos códigos técnicos de edificación para las nuevas construcciones en zonas propensas a sufrir incendios forestales.

Hay dos mecanismos principales responsables de la ignición de infraestructuras a partir de las pavesas por IF: penetración de pavesas al interior de la edificación e ignición de materiales en el exterior de la estructura. MANZELLO et al. (2012) recopilan los estudios realizados sobre la vulnerabilidad de infraestructuras o edificaciones frente a la lluvia de pavesas producida en un incendio forestal. Determinaron que los elementos más vulnerables son los tejados y los huecos en las fachadas. Respecto a los tejados, concluyeron que las acículas y restos acumulados en huecos creados entre las tejas o en un canalón de PVC pueden sufrir ignición debido a la caída de pavesas. Respecto a la ignición de las viviendas por focos secundarios, Foote (1994) comprobó que el factor con influencias significativas en la ignición o no es la inflamabilidad de los tejados: las viviendas con tejados no inflamables tenían un 70% de supervivencia frente al 19% en las viviendas con tejados inflamables. David (1990) encontró resultados similares respecto a la inflamabilidad de los tejados.

En cuanto a los huecos en las fachadas MANZELLO et al. (2012) comprobaron que las pavesas son capaces de atravesar una malla de 6 mm de luz, produciendo una ignición más rápida de los materiales detrás de la malla que en el caso de mallas con luces menores de 3 mm a 1,5 mm. Como resultado de estos estudios, en el código técnico de edificación de California, se redujo el tamaño de la malla necesaria para cubrir huecos en las edificaciones, con el fin de reducir el peligro potencial de entrada de pavesas en las edificaciones (30 de K).

MANZELLO ET AL (2012) establece que además de la lluvia de pavesas proveniente de la vegetación del incendio forestal, las propias estructuras también podrían ser otra fuente añadida de producción de focos secundarios en incendios en zonas de interfaz urbano-forestal.

La ignición directa de la estructura depende de los materiales usados para su construcción, las técnicas de construcción, el manejo de la vegetación cerca de la casa y la presencia de materiales ignitables alrededor del exterior de la casa (Cohen, 2000, Manzello et al., 2006). En el contexto de ignición a través de exposición al calor, las últimas investigaciones apuntan a una distancia de separación entre la vegetación inflamable y la estructura de 10 a 40 m es suficiente para prevenir la ignición (Cohen, 2000; Cohen and Stratton, 2008). Una vez producida la ignición la estructura no participa completamente en el incendio hasta pasado algún tiempo (Quarles et al. 2010) por lo que, en una situación de emergencia, los bomberos forestales podrían considerar el uso de la estructura como zona segura. Sin embargo, sólo debería utilizarse si la estructura ha sido evaluada respecto a su vulnerabilidad a la ignición y al fuego. Además, los bomberos deberían considerar la vegetación que está ardiendo alrededor de la estructura, ya que modelos de combustible con mucha carga supondrían mayor tiempo de residencia del fuego que si la vegetación es más ligera y arde rápidamente.

Los estudios que existen en viviendas que se han visto afectadas por incendios forestales y que han resistido al paso de los mismos, sugieren que son las características de la vivienda y de la zona exterior circundante, los factores que determinan su ignitabilidad (COHEN, 2000, F). Por otra parte, HOWARD ET AL. (1973) encontraron un 95% de supervivencia de viviendas con tejados no inflamables y libres de vegetación en una banda alrededor de 10 a 18 metros. El modelo de evaluación de ignición de estructuras se ha empleado para evaluar el potencial de ignición de una estructura a partir de la exposición a las llamas y las pavesas durante incendios de interfaz (COHEN, 1995). Este modelo calcula el total de calor transferido por radiación y convección a una estructura, a partir de varios tamaños de llamas y distancias a las viviendas con exterior de madera. Los resultados muestran que los frentes de llamas de incendios de 20 m de alta y 50 m de ancho no producirán la ignición en superficies de madera a distancias mayores de 40 m. Además, el tiempo requerido para la ignición depende de la distancia a la llama y su tamaño. A 40 m el calor transferido es menor de 20 kW/m<sup>2</sup>, lo que solo podría significar la ignición transcurrido un tiempo mayor de 10 minutos. Sin embargo, 10 minutos es significativamente mayor que el tiempo de residencia de las llamas en los incendios en un determinado lugar (COHEN, 2000).

Recientemente la Universidad de Nevada (USA) ha publicado la guía práctica “Reacondicionamiento del hogar frente a incendios forestales” para preparar y reforzar las viviendas al paso de los incendios forestales. En ella establecen las siguientes recomendaciones:

- los tejados más resistentes son los de Clase A, que son aquellos cuyos materiales incluyen tejas de composición de fibra de vidrio y asfalto, tejas de arcilla y cemento y algunos materiales metálicos. Además, hay que retirar toda la vegetación que se acumule en ellos.
- canalones de lluvia. Retirar los restos de vegetación de las canaletas con regularidad durante la temporada de incendios. Instale un borde de goteo de metal no combustible y resistente a la corrosión para mayor protección frente a la caída de focos secundarios.
- ventanas y elementos de ventilación. Al reemplazar ventanas, elija opciones de paneles múltiples que contengan vidrio templado. Recomiendan reemplazar las rejillas de ventilación con una opción resistente a las llamas y las brasas. Por otra parte, se ha comprobado que las persianas ofrecen una protección eficaz, especialmente las de aluminio con espuma aislante (CABALLERO, 2021).
- fachada. Usar revestimientos no combustibles.
- chimeneas. Emplear salidas de chimenea y tubo de estufa con pantalla incombustible. Emplear material de pantalla de metal con aperturas no menores de 4/8 de pulgada y no mayores de 1/2 pulgada para minimizar las brasas que salen de la chimenea. Durante la temporada de incendios cuando la chimenea no está en uso, cerrar el tiro de la chimenea.
- vallas. Reemplazar la parte más cercana a la casa con una sección no combustible.
- garaje y otras edificaciones adyacentes. Todos sus componentes constructivos se deben tratar como si fuesen parte de la vivienda principal.

### 3.3. Protección frente al humo producido por el incendio forestal

Los daños ocasionados por el fuego en humanos se producen por tres mecanismos: inhalación de gases tóxicos que dañan las funciones biológicas, inhalación de gases calientes que producen la inflamación hasta el punto de impedir el intercambio de aire en los pulmones, o daño directo en la piel por el calor por radiación o convección. Por lo tanto, la distancia de seguridad de los bomberos forestales desde su posición de trabajo hasta el frente del incendio forestal debería ser tal que hiciera imposible el daño a partir de cualquiera de estos tres mecanismos (Butler, 2014).

(I) Además del daño por humo en los equipos intervinientes en la extinción, también se pueden ver afectados la población en general, y los usuarios de viviendas o edificaciones en zona de monte.

El humo generado por los incendios forestales se ha convertido en uno de los principales problemas en los objetivos en la gestión de estas emergencias. Investigaciones recientes han comprobado que las partículas de materia fina (PM2.5) originadas de los incendios forestales son hasta diez veces más perjudiciales que las partículas producidas por otras fuentes de otros orígenes y, por lo tanto, pueden causar un mayor impacto en la salud del sistema respiratorio (AGUILERA et al., 2021).

Por otra parte, existen estudios que han demostrado que el humo producido por los incendios forestales va adquiriendo mayor toxicidad con el paso del tiempo, hasta resultar cuatro veces más tóxico a lo largo del día (GRAY R, 2020). Esto significa que incluso si la vivienda está lejos del incendio, si el humo está siendo dirigido por el viento hacia la misma, podría tener un impacto significativo en la salud de las personas. Esto supone tener que tomar medidas de autoprotección para los ocupantes de la misma.

Respecto a las medidas a tomar para la autoprotección de una vivienda en zona de monte, frente al humo de los incendios forestales, encontramos la referencia de la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA) sobre calidad del aire interior durante los incendios forestales. En ella se identifica como personas más vulnerables a los niños, las personas mayores y aquellas con problemas de salud en el sistema respiratorio y en el corazón.

Entre las medidas preventivas, se recomienda adquirir un purificador de aire o un sistema de filtros HVAC de alta eficiencia como herramienta para mejorar la calidad del aire en el interior en tu vivienda durante un episodio de humo por incendio forestal. Es conveniente consultar con profesionales HVAC para determinar el filtro de mayor eficiencia que se adaptará mejor a la vivienda. También recomiendan tener una reserva de mascarillas N95 para uso individual durante el episodio de humo.

Es necesario saber ajustar el sistema HVAC o de aire acondicionado de manera que sea capaz de mantener el humo fuera de la vivienda. Si está programado para tomar aire fresco del exterior, habría que cerrar el sistema y programarlo con el modo de recirculación de aire.

Una vez que se está produciendo el episodio de humo sobre nuestra vivienda también establecen recomendaciones para proteger a las personas. En primer lugar, hay que permanecer en el interior de la vivienda, si esto es lo que se ha recomendado por la dirección de la emergencia. Se deben mantener las ventanas y las puertas cerradas, así como cualquier entrada de aire del exterior a través de sistemas de aire acondicionado.

Se recomienda utilizar un purificador de aire para eliminar partículas finas ya presentes en el ambiente. También se evitarán actividades que puedan crear más partículas finas en el interior como fumar, el uso de gas, propano o la combustión de madera, el uso de productos con aerosoles, freír alimentos, encender velas o incienso, aspirar superficies. Cuando sea posible porque haya mejorado la calidad del aire exterior, es conveniente abrir las ventanas para renovar el aire.

## 5. Conclusiones

Las características estructurales de las viviendas y la situación de los 40 m alrededor de la misma determinan su ignitabilidad potencial en caso de WUI. La ignición de las viviendas depende de los frentes de llamas y pavesas que puedan propagar dentro de los 40 m alrededor de la estructura. Este resultado indica que la escala espacial que determina el riesgo de incendio forestal de una vivienda concreta corresponde más a la gestión en su microescala que a la gestión a una escala de paisaje. Sin embargo, aunque de modo general la gestión del riesgo corresponde a la microescala, para reducir la probabilidad de emisión de pavesas, la gestión forestal de prevención de incendios debería reducir la cantidad de combustible que habitualmente produce focos secundarios, actuando para ello sobre las masas forestales en una distancia de varios kilómetros alrededor de la vivienda.

Otra conclusión de este trabajo es que es necesario un mayor flujo de información entre los bomberos forestales y los investigadores/gestores del ámbito forestal. Los primeros deben recopilar el conocimiento práctico extraído durante la extinción de los incendios forestales, mientras que los segundos deben enfocar las investigaciones y la gestión forestal a minimizar los problemas de seguridad y dificultades en el trabajo que encuentran los bomberos forestales y los ocupantes de edificaciones en zonas de monte durante el incendio forestal (ADAMS ET AL., 2017, H). Sin esta transferencia de información de manera continua y fluida, la gestión de los incendios forestales futuros seguirá siendo una asignatura pendiente para nuestra sociedad.

## 6. Agradecimientos

Agradecer la revisión del texto y las ideas aportadas a Domingo Calderón y Daniel Samper, compañeros de profesión y del master de incendios forestales Masterfuego (Incendios forestales, ciencia y gestión integral), que me han ayudado a recopilar ideas y argumentos para la redacción de la presente comunicación.

## 7. Bibliografía

ADAMS, T.; BUTLER, B., BROWN, S.; WRIGHT, V., BLACK, A.; 2017. Bridging the divide between fire safety research and fighting fire safely; how do we convey research innovation to contribute more effectively to wildland firefighter safety? *International Journal of Wildland Fire*.

AGUILERA, R.; CORRINGHAM, T.; GERSHUNOV, A.; 2021. Wildfire smoke impacts respiratory health more than fine particles from other sources: observational evidence from Southern California. *Nature Communication* 12, 1493.

ANDERSON, 1986. Fire spread and flame shape. *Fire technology*, 4: 51-58.

BAGSTER, D. F.; PITBLADO, R. M.; 1989. Thermal hazards in the process industry. *Chemical Engineering Progress*, 69-75.

BUTLER, B.; COHEN, J.; 1998. Firefighter Safety Zones: a theoretical Model Bases on Radiative Heating. *International Journal Wildland Fire*, 8(2): 73-77.

BUTLER, B.W.; COHEN, J.J.; 2000. Field verification of a firefighter safety zone model in: *Proceedings of the 2000 International Wildfire Safety Summit*, pp. 54-61.

BUTLER, B.W.; 2014. Wildland firefighter safety zones: a review of past science and summary of future needs. *International Journal of Wildland Fire*.

CABALLERO, D.; 2021. Las persianas y contraventanas en los incendios forestales. *Revista de Incendios y Riesgos Naturales*. Número 4.

CASAL, J.; MONTIEL, H.; PLANAS, E.; VILCHEZ, J.A.; 1999. Análisis de riesgo en instalaciones industriales. Ediciones UPC. Barcelona.

COHEN, J.; 1995. Structure ignition assessment model (SIAM). In *Proceedings of Biswell Symposium: Fire Issues and Solutions in Urban interface and Wildland Ecosystems*, 85-92.

General Technical Report PSW-158. Albany, CA: USDA Forest Service, Pacific Southwest Research Station.

COHEN, J.; BUTLER, B.; 1996. Modeling potential structure ignitions from flame radiation exposure with implications for wildland/Urban interface fire management. 13th Fire and Forest Meteorology Conference. Lorne. Australia.

COHEN J. D. 2000. Preventing disaster: home ignitability in the wildland-urban interface. *Journal of Forestry*, 98 (3):15-21.

GRAY, R.; 2020. Four times more toxic how wildfire smoke ages over time. *Horizon magazine*. Research and innovation ec.europa.eu. 2020.

DONNELLY, M.K.; DAVIS, W.D.; LAWSON, R.; SELEPAK; M.J; 2006. Thermal Environment for Electronic Equipment Used by First Responders. NIST Technical Note 1474, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, Maryland.

DENHAM, M.; 2007. Predicción de incendios forestales basada en algoritmos evolutivos guiados por los datos. Memoria en el programa de Doctorado en Informática "Arquitectura de Ordenadores y Procesamiento paralelo". Universidad Autónoma de Barcelona.

EISENBERG, N.A.; 1975. Vulnerability Model. A simulation system for assessing damage resulting from marine spills. US Coast Guard, Enviro Control Inc. (Washington, DC)

FOOTE, E.I.; 1994. Structure survival on the 1990 Santa Barbara "Paint" fire: A retrospective study of urban-wildland interface fire hazard mitigation factors. MS thesis, University of California at Berkeley.

HOWARD, R.A.; NORTH, D.W.; OFFENSEND, E.L.; SMART, C.N. 1973. DECISION ANALYSIS OF FIRE PROTECTION STRATEGY FOR THE Santa Monica mountains: An initial assessment (on file). Menlo Park, CA: Stanford Research Institute.

MANZELLO, S. L.; MARANGHIDES, A.; MELL, W.E.; CLEARLY, T.G., YANG J.C.; 2006. Firebrand production from burning vegetation. In "Fire Research, V International Conference", 27-30 November, Coimbra, Portugal (Ed. DX Viegas).

MANZELLO, S. L.; SUZUKI, S.; HAYASHI, Y.; 2012. Enabling the study of structure vulnerabilities to ignition from wind driven firebrand showers: A summary of experimental results *Fire Safety Journal*, Volume 54, pp. 181-196.

McGUIRE, J.H.; 1953. Heat transfer by radiation. Fire Research special report No. 2. Her Majesty's Stationery office, London.

ROSSI, JL.; SIMEONI, A.; MORETTI, B.; LEROY-CANCELLIERI, V.; 2011. An analytical model based on radiative heating for the determination of safety distances for wildland fires. *Fire Safety Journal* 46, 520–527. doi:10.1016/J.FIRESAF.

Wildfire Indoor Air Quality. 2022. Public Health Strategies to Reduce Exposure to Wildfire Smoke. EPA United States Environmental Protection Agency.

TORVI, D.; HADJISOPHOCLEOUS, G.; HUM, J.K.; 2000. A new method for estimating the effects of thermal radiation from fires on building occupants. National Research Council Canada. Pag, 65-72.

UTECH, H.; 1973. Status Report on Research Programs for Firefighters Protective Clothing. In 45th Annual Fire Department Instructors Conference Proceedings, pages 156–166. International Society of Fire Service Instructors.

ZÁRATE LÓPEZ, L.G.; 2004. Estudio de las características físicas y geométricas de la llama en los incendios forestales. Tesis doctoral, UPC, Departament d'Enginyeria Química. ISBN 8468867381. Disponible en: <http://hdl.handle.net/2117/93747>.

ZARATE, L., ARNALDOS, J.; CASAL, J.; 2008. Establishing safety distances for wildland fires. Fire Safety Journal. 43, pp. 565-575.