



7º CONGRESO FORESTAL ESPAÑOL

**Gestión del monte: servicios
ambientales y bioeconomía**

26 - 30 junio 2017 | **Plasencia**
Cáceres, Extremadura

7CFE01-366

Edita: Sociedad Española de Ciencias Forestales
Plasencia. Cáceres, Extremadura. 26-30 junio 2017
ISBN 978-84-941695-2-6

© Sociedad Española de Ciencias Forestales

Nodos de Propagación como Fundamento de la Prevención de Grandes Incendios en el siglo XXI.

QUÍLEZ MORAGA, R.¹,

¹ Consorcio Provincial de Bomberos de Valencia.

Resumen

El problema ocasionado por los incendios forestales se está agravando debido a los cambios socioeconómicos de los últimos 40 años y a la falta de adecuación de la ordenación del territorio a la nueva realidad bajo el contexto del cambio climático. La prevención de incendios forestales continúa realizándose desde una visión clásica y se limita a la realización de áreas cortafuegos o al mantenimiento de las construidas en el pasado, sin entrar a valorar su funcionalidad acorde con el comportamiento del fuego actual. Para hacer frente a los GIF, las estrategias políticas y técnicas se basan fundamentalmente en la dotación de medios de extinción de todo tipo y tecnología, sin valorar el comportamiento extremo de incendio y en la utilidad real de esta tecnología frente a su coste. Lo que se propone es la reducción de la incertidumbre que conlleva la extinción de los grandes incendios forestales. Para reducirla es necesario abordar el conocimiento aportado por los grandes incendios acaecidos en el pasado sobre el territorio, apoyándose en las nuevas tecnologías de simulación y análisis GIS, de modo que se consiga determinar por dónde propagarán los grandes incendios del futuro, es decir, localizar sobre el territorio lo que se ha definido como “nodos de propagación”.

Palabras clave.

Prevención, Nodos de propagación, Comportamiento del fuego, Grandes incendios, Incendios y cambio climático.

1. Introducción.

La gestión forestal abordada desde la óptica de la prevención de incendios forestales, continúa realizándose desde una visión clásica, y en lo referente a la gestión de combustibles se limita a la realización de áreas cortafuegos entre términos municipales, o al mantenimiento de las construidas en el pasado, sin entrar a valorar su funcionalidad en el estado actual en que se encuentran las masas forestales y las condiciones meteorológicas o climatológicas en las que se desarrollan los incendios forestales en la actualidad..

En ocasiones, los medios de extinción no son conocedores de cómo se encuentran estas infraestructuras preventivas, o no tienen previsto cómo utilizarlas en caso de grandes incendios forestales (en adelante GIF), utilizándolas de forma ocasional cuando están presentes en el entorno del incendio, pero sin participar en la planificación a medio plazo de la extinción de un determinado incendio forestal.

Según los sistemas tradicionales de extinción de incendios, bajo determinadas condiciones meteorológicas, el control del incendio se hace muy complicado o imposible, hasta que no varíen los factores que afectan a su propagación, de ahí la expresión de incendios fuera de capacidad de extinción (COSTA et al, 2011).

Actualmente, para hacer frente a los GIF, las estrategias, tanto políticas como técnicas, se basan fundamentalmente en la dotación de medios de extinción de todo tipo y tecnología, sin entrar a valorar el comportamiento extremo de incendio a todos los niveles, en la utilidad real de esta tecnología frente a su coste, y en las opciones que estas herramientas aportan a la extinción. Los dispositivos se centran normalmente en una respuesta reactiva frente a una emergencia, lo que, en ocasiones, puede suponer un riesgo por la complejidad organizativa y el exceso de recursos.

Así, las respuestas habituales se basan en el envío de un despacho inicial de medios que va incrementándose a medida que el incendio crece, y en donde se pueden llegar a reunir tal cantidad de medios de extinción, que se complica en extremo la organización logística de los recursos, algo que ocurre frecuentemente con los medios aéreos.

En otras ocasiones, estas estrategias se aplican independientemente de la naturaleza del territorio por el que se propaga el incendio, y de las condiciones meteorológicas y climatológicas bajo las que se desarrolla, quedando muchas veces al azar los resultados finales de la extinción.

Por todo eso, se hace necesario desarrollar una nueva visión de los incendios forestales, alejada de las pérdidas de beneficios directos, y centrada en la pérdida de los beneficios indirectos, teniendo en cuenta especialmente los escenarios futuros de cambio climático que muchas Agencias auguran para corto, medio y largo plazo.

Esta nueva visión pasa por una ordenación del territorio acorde con la problemática actual que los incendios representan. La tecnología de análisis del territorio en relación con los incendios forestales ha evolucionado de manera muy rápida durante los últimos años. Conceptos como los *caminos de fuego* (Minimun Travel Time) (FINNEY, M; 2002) pueden ser muy útiles para su diseño.

En definitiva, lo que se propone en este trabajo se centra en reducir en gran medida la incertidumbre que conllevan la mayoría de las operaciones de extinción de incendios forestales (SIMONS, 2013) en relación con la dirección de grandes incendios forestales. Para reducir la incertidumbre es necesario abordar el conocimiento aportado por los grandes incendios acaecidos en el pasado sobre el territorio, y apoyándose en las nuevas tecnologías de simulación y análisis GIS, conseguir determinar cuáles serán las zonas por donde propagarán los megaincendios.

Este conocimiento constituirá la base de la elaboración de unos *planes de extinción preestablecidos*, que proveerán al director de la emergencia, bajo diferentes ventanas meteorológicas, de una serie de decisiones operativas predeterminadas, lo que permitirá cambiar la actual respuesta reactiva por una respuesta proactiva. Así, facilitarán al director de la emergencia de los elementos de juicio y datos técnicos que le permitan avalar sus acciones, reduciendo la presión sobre sus decisiones, a la vez que se incrementa el grado de seguridad al personal interviniente y a la población afectada, y que implique una reducción de los daños producidos por los incendios sobre una determinada región.

2. Objetivos

El objetivo principal consiste en establecer la metodología más adecuada para definir los Nodos de Propagación en un territorio. Esto permitirá determinar la zona más adecuada para la realización de tratamientos preventivos, en base a los cuales se propondrá la redacción de unos planes de operaciones proactivos, que permitan anticiparse a la propagación del incendio, reduciendo sus efectos en sentido amplio sobre el territorio, a la vez que proporcionará un escenario más seguro para las unidades intervinientes en su control. En este sentido, los pasos seguidos para la consecución de este objetivo son los siguientes:

1. Explorar los nuevos modos de simulación que el simulador WildFire Analyst ofrece para la obtención de datos de comportamiento del fuego.
2. Extrapolar el comportamiento de los grandes incendios en la zona a escenarios futuros, de acuerdo con las previsiones que marcan los diferentes escenarios de cambio climático.
3. Analizar el comportamiento del fuego en estos escenarios mediante el simulador WildFire Analyst, para determinar cómo propagarán estos incendios.
4. Definir y establecer Nodos de Propagación en la región mediterránea, por donde propagarán la mayoría de los incendios bajo las peores condiciones meteorológicas.

5. A partir de los Nodos de Propagación, y seleccionadas las zonas de mayor interés a la hora de confinar los grandes incendios, se diseñarán actuaciones en materia de prevención de incendios que traten de confinar el desarrollo de los grandes incendios, bajo los parámetros de comportamiento del fuego, y que provean de áreas de seguridad a las unidades intervinientes en su control.

3. Metodología

Para realizar el estudio se ha seleccionado una zona al noroeste de la provincia de Valencia a la que se ha denominado “Sot de Chera” (municipio central del área de estudio), que constituye un macizo forestal limitado al sur por la plana de Utiel Requena y la A3, al oeste por la N330 desde Utiel a Sinarcas, y desde aquí al pantano de Benagéber, al norte por el cauce del río Turia, y al este por las zonas de cultivo del eje Pedralba, Chiva. Constituye el extremo más meridional de Sistema Ibérico. Este escenario está poco poblado y existen pocas actividades centradas en el interior de la masa forestal, por lo que los incendios del pasado han contribuido a generar un paisaje continuo y homogéneo, en lo que a vegetación forestal se refiere, con una superficie de 103.238,45 ha forestales.

En esta zona se han determinado los **Nodos de Propagación** que se pueden definir como aquellos lugares donde se acumulan los MTT sobre el territorio, para diferentes escenarios meteorológicos variables y desde diferentes puntos de inicio.

De forma previa, en otros trabajos (QUILEZ, R.; 2016) se ha validado el simulador Wildfire Analyst, en adelante WFA (RAMIREZ, J. et al, 2011), para simular los megaincendios sobre el territorio de la Comunitat Valenciana, con climatología variable y en periodos horarios de hasta 48 horas. Este simulador obtiene la puntuación más elevada de la comparativa de 14 simuladores (SIMONS, 2013) por su celeridad de cálculo, interfaz de trabajo y ajuste de resultados, por ello se ha elegido el simulador WFA para realizar las simulaciones.

Para realizar el proceso de cálculo de los MTT con WFA, hay que tener en cuenta que este simulador trabaja de la siguiente manera:

Para el cálculo de los firepahts (MTT) de una simulación normal en módulo propagador, el WFA:

- 1º Calcula el número de celdas que han ardido a causa de una celda (figura 1).

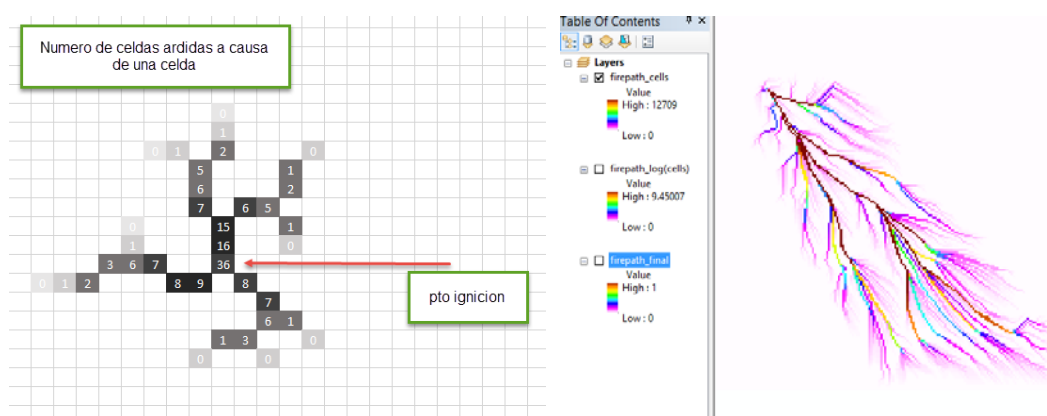


Figura 1. Obtención de celdas quemadas desde cada punto de inicio. FTE Tecnosylva.

- 2º Calcula el Logaritmo del valor de la capa anterior para homogeneizar los datos (figura 2).

3º Se divide por el máximo valor de la capa para que la leyenda del WFA siempre esté definida entre 0 y 1 (esto es lo que hace que el cálculo no sea absoluto como decíamos sino solo relativo a la simulación en cuestión). El valor por el que se divide en realidad es el valor en el punto de inicio que corresponde al logaritmo del número total de celdas ardidas en el incendio (figura 3).

De esta forma, para una simulación única, Si llamamos B= número de celdas totales ardidas en una simulación y $X(i,j)$ = número de celdas ardidas a causa de la celda (i,j), entonces tenemos que el valor del firepath sobre cada celda del WFA es:

$$\text{Firepath}(i,j) = \frac{\log(x(i,j))}{\log(B)} = \log_{\text{base } B}(x(i,j))$$

Y por tanto, si quisiéramos saber el valor real $X(i,j)$ necesitaríamos calcular:

$$X(i,j) = B^{\text{Firepath}(i,j)}$$

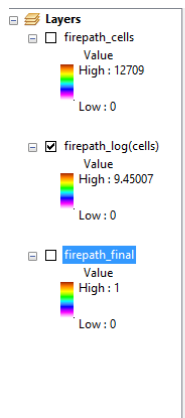


Figura2. Homogeneización de los resultados mediante cálculos logarítmicos. FTE Tecnosylva.

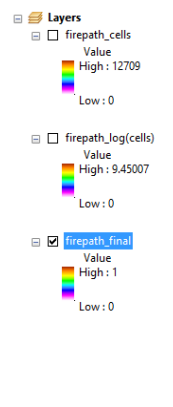


Figura3. Determinación de valores entre cero y uno. FTE Tecnosylva.

Para hacer esto en ARCGIS habría que conocer el área total de la simulación y dividirlo por el $\text{cellsize} \times \text{cellsize}$ para saber el número de celdas a las que corresponde esa área que sería lo que llamamos B, Importar capa a ARCGIS y calcular.

$$X(i,j) = B^{\text{Firepath}(i,j)}$$

Si el módulo que se utiliza para realizar las simulaciones es el probabilístico, el cálculo es distinto, porque primero se suman todos los valores $x(i,j)$ de cada simulación para luego calcular el logaritmo y normalizarlo. Llegados a este punto, para obtener el B tenemos que emplear la capa **acum_cost**, que nos da, para cada celda, el número de veces que esa celda ha ardido en las N simulaciones probabilísticas que se han hecho, de modo que $B =$ la suma del valor de todas las celdas de la capa **acum_cost**.

$$x(i,j) = B^{\text{Firepath}(i,j)}$$

De acuerdo con esto, para realizar el análisis de las zonas objeto de estudio, el proceso de cálculo sería el siguiente:

1. Identificación de la meteorología más desfavorable para la zona de estudio. Al existir ciertas dudas para el cálculo de los MTT en relación con la exactitud de las simulaciones con variables ambientales no constantes, lo que se propone es realizar las simulaciones con condiciones ambientales fijas (a excepción del modelo de combustible), para cada una de las orientaciones de viento más desfavorables en cada zona.
2. Búsqueda de los puntos más desfavorables de inicio de incendio. Estos pueden obtenerse mediante la recopilación de puntos de inicio de grandes incendios históricos, al azar, o mediante la determinación de los puntos de fuego que generan las principales carreras de propagación. En este trabajo se han localizado los puntos que generan las principales carreras de propagación. Para ello se han utilizado las simulaciones de diferentes frentes de

fuego, que mediante el módulo probabilístico de WFA (100 simulaciones sobre cada frente) permita localizar estos puntos. Los frentes de fuego se han simulado en el perímetro de la zona de estudio, en plena alineación (CAMPBELL, 1995) para favorecer la máxima propagación del fuego.

3. Simulación para cada punto localizado, utilizando el propagador probabilístico de WFA. El resultado será el MTT de 100 simulaciones por punto seleccionado, bajo unas condiciones meteorológicas determinadas y constantes.
4. Obtención del número total de celdas quemadas desde cada punto de inicio, obtenidas a través de la salida acumcost de WFA, para poder estimar el número de veces que quema cada píxel sobre el raster de cada simulación probabilística.
5. Obtención de los MTT de las simulaciones probabilísticas de cada punto de inicio desde la salida sce_mtt recalculados para establecer el número real de veces que quema cada celda desde cada punto de inicio.
6. Unión mediante el programa ARCGIS de todos los MTT de cada punto recalculados, con el objeto de obtener el MTT del territorio integrando los resultados para los diferentes puntos de inicio seleccionados bajo sus respectivas condiciones meteorológicas en plena alineación.
7. Localización de los puntos de unión de estos MTT, los cuales se van a denominar **Nodos de Propagación**.
8. Análisis de territorio con la finalidad de delimitar la superficie de megaincendios, proponiendo una superficie a sacrificar en función de las condiciones meteorológicas, y estableciendo los planes de operaciones de extinción basadas en la tipología de la propagación de estos incendios, teniendo como máxima la seguridad del personal en su aplicación.

De manera previa a la determinación de los Nodos de Propagación, hay que realizar un profundo estudio de todas las variables a introducir en WFA. De la calidad de estos datos dependerán en gran medida los resultados de salida, teniendo una importancia capital en la aplicación del simulador en operaciones de extinción de incendios forestales.

4. Resultados

Para realizar el análisis de la zona de Sot de Chera, en primer lugar se ha realizado un estudio de los puntos que generan mayores carreras de propagación mediante la simulación de WFA con tres orientaciones de vientos en las zonas sur, oeste y norte de la zona.

Estas simulaciones se han realizado con la herramienta “probabilístico” con 100 simulaciones para cada orientación de vientos y cada línea de fuego generada. La extensión de la simulación es variable debido a la gran cantidad de terreno que abarca cada simulación desde cada orientación. Las simulaciones son de 10 horas para orientaciones suroeste y noroeste, y de 15 horas para las simulaciones desde el oeste.

La simulación probabilística permite trabajar con “horquillas” de variación de las condiciones meteorológicas y de combustibles introducidas. Los parámetros meteorológicos utilizados han sido los definidos por AEMET dentro del Plan de Selvicultura Preventiva de la Comunitat Valenciana para la zona, ajustados en función de la experiencia propia en GIF en la zona, en lo referente a humedad relativa (Tabla 1).

Los modelos de combustible utilizados han sido los de Valencia (QUÍLEZ, R.;CHINCHILLA, S.;2013). Para el estado fenológico se han utilizado los mismos modelos, modificando el modelo PD1 de campos de cereal, por el P1 de pastizal bajo (suponiendo que ya se ha realizado la siega) y el periodo se ha modificado a 1 de junio al 30 de septiembre, mostrando el estado como “fully cured”.

Tras la localización de las principales carreras de propagación desde los frentes de incendio, donde se han cogido las que muestran un valor superior a 0,4 de una escala de 0 a 1, se han localizado los puntos que originan los MTT que aglutinan las principales carreras de incendio sobre ortofotografía de la zona utilizando el programa ARGIS para determinar sus coordenadas y poder

simular cada uno de estos puntos. En total para la zona de Sot de Chera se han seleccionado 52 puntos de inicio.

Tabla 1. Variables meteorológicas y humedad del combustible en el escenario de Sot de Chera.

Velocidad del viento (km/h)	Dirección del viento (°)	Temp (°C)	HR (%)	Hcfm (%)	Hcomb 10hr (%)	H comb 100hr (%)	H comb leñosos vivos (%)	H comb herbáceos vivos (%)
Orientación de la línea de fuego oeste (simulación 15 horas)								
70 ± 10	270 ± 45°	37	10	3 ± 1 %	5	7	55	30
Orientación de la línea de fuego noroeste (simulación 10 horas)								
70 ± 10	315 ± 45°	37	10	3 ± 1 %	5 ± 1%	7 ± 1%	55	30
Orientación de la línea de fuego suroeste (simulación 10 horas)								
70 ± 10	225 ± 45°	37	10	3 ± 1 %	5 ± 1%	7 ± 1%	55	30

De los 52 puntos seleccionados se ha decidido hacer la simulación con 49 puntos al coincidir sus trayectorias con las de los puntos de inicio adyacentes. Los puntos de inicio eliminados han sido los números 41, 44 y 47.

Cuando se han definido los puntos más desfavorables, se ha procedido a obtener los MTT y el acumcost (número de celdas quemadas desde cada punto de inicio) de cada punto de inicio mediante la simulación probabilística con 100 simulaciones para cada punto (Fig. 4).

Una vez obtenidas las 49 simulaciones probabilísticas (4.900 simulaciones de incendio sobre el escenario), se ha procedido a recalcular cada valor de los MTT de cada punto (Fig. 5), y posteriormente se han sumado todos (Fig. 6). A la hora de realizar la suma, hay que tener en cuenta que, como la superficie de simulación es grande, aun habiendo utilizado la misma extensión de simulación con WFA, los raster generados para cada punto de inicio varían su cobertura sobre el terreno. Por tanto, es importante tenerlo en cuenta, ya que en caso contrario se perderá la información de las zonas periféricas de cada raster de cada punto, obteniendo como resultado de la suma sólo la zona central de solape.

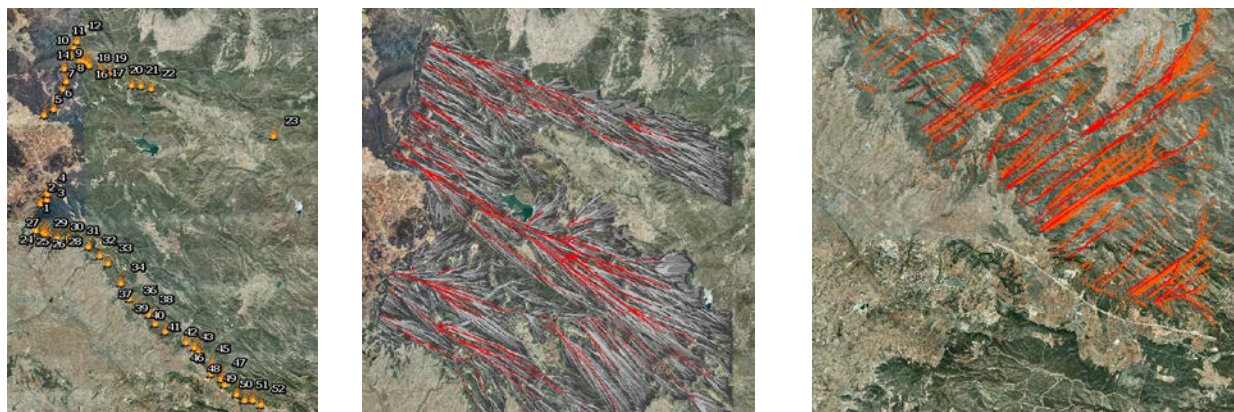


Figura3. Puntos de inicio seleccionados (izquierda) Y selección de puntos de inicio con líneas de fuego en plena alineación sobre la zona línea oeste (centro) y línea suroeste (derecha).



Figura 4. MTT del punto 1 recalculado.

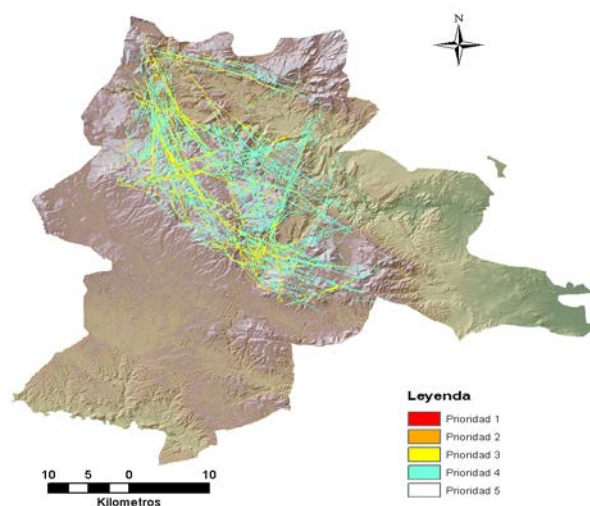


Figura 5. Mapa de MTT reclasificados y sumados de los 49 puntos.

En el mapa de MTT acumulados se ha configurado un orden de prioridad en función del número de veces que quema cada píxel, estableciendo una graduación del 1 al 5, donde la prioridad 1 corresponde a aquellos píxeles que queman entre 10 millones y 17 millones de veces, la prioridad 2 corresponde a aquellos entre 5 y 10 millones, la 3 a aquellos entre 1 y 5 millones, la 4 a los que queman entre 200.000 y 1 millón de veces, y la prioridad 5 a aquellos que queman entre 1 y 200.000 veces.

Para obtener la representación final, se han segregado aquellos valores de píxel que en el análisis raster coinciden con valores de píxeles que se encuentran fuera de la zona incendiada, o aquellos que tienen el valor de zonas no quemadas por ser agrícolas o urbanas dentro de la simulación.

Para realizar la localización inicial de los Nodos de Propagación, se debe:

1. Analizar la extensión temporal de las simulaciones. Por la configuración de la zona de simulación, en este caso alargada en orientación este oeste, las simulaciones de los puntos de la zona oeste han tenido una duración de 15 horas, y las de los puntos de la zona sur y norte de 10 horas. Este dato es importante para trabajar posteriormente con los datos del sumatorio de los diferentes MTT de cada punto.
2. Normalizar el valor de los píxeles sobre el raster resultante de la suma de los MTT de todos los puntos. Para ello se normalizan los valores de los píxeles entre 0 y 1 para obtener unos valores más cercanos y homogéneos. Para ello se calcula el Ln de la capa suma de todos los MTT, ya que la variable "número de celdas que arden a causa de una celda" crece de forma exponencial a medida que se extiende el incendio. Analizar las variables que crecen de forma exponencial no es fácil ya que los rangos suelen ir perdiendo sentido. Es por esto que se asume que, como la variable en sí misma es exponencial, se puede emplear un logaritmo de forma que esta crezca de forma lineal $\log(\exp(x))=x$. Una vez obtenida la capa Lnsuma, se normalizan los resultados entre los valores 0 y 1, para poder analizar mejor los datos. Estos valores se encuentran escalados entre 0 y 1, en donde se han representado de forma transparente los valores hasta 0,2, en azul los valores hasta 0,4, amarillo 0,6, naranja 0,8 y rojo en 1. En esta representación siguen marcándose valores fuera de la zona de trabajo en azul, en donde no existen MTT, por lo que se procede a redefinir la paleta de colores, dejando sin representación (sin color) los menores de 0,5, ya que no son representativos.
3. Analizar de forma visual la imagen de la suma de los MTT. Este análisis también puede realizarse mediante la determinación de los píxeles a partir de un determinado valor con ArcGis.

Una vez tratados y eliminados los valores inferiores a 0,5, y reclasificados los resultantes, se pueden analizar los principales Nodos de Propagación de forma inicial. Se trata de una primera selección que necesitará un análisis posterior de los parámetros como la forma del terreno, modelos de combustibles presentes, distribución de zonas agrícolas, entre otros (Fig. 6).

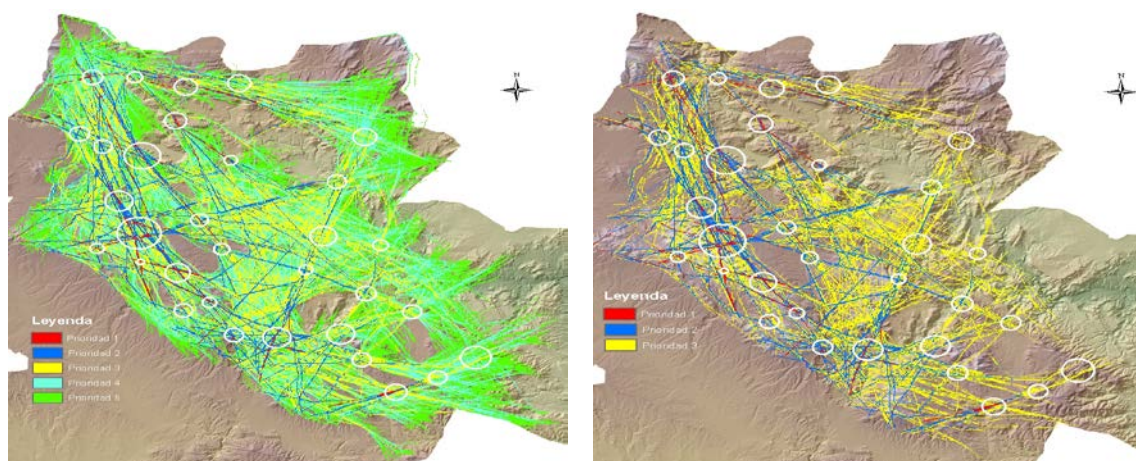


Figura 6. Comparativa de la resultante de las principales zonas de acumulación de MTT, una vez eliminados los valores no representativos (izquierda), organizados por prioridades, y la misma imagen donde se dejan los valores de las prioridades 1, 2 y 3, que son los que acumulan la mayor cantidad de carreras de propagación, y por tanto por donde se propagarán los GIF en la zona.

En la zona seleccionada para analizar los Nodos de Propagación de Sot de Chera, se han seleccionado 34 Nodos de Propagación con una superficie total inicial de 8.164, 81 ha, para una superficie forestal total de 103.238,45 ha, con lo que habría un exceso de 1.970,51 ha, en las actuaciones localizadas, para poder ocupar el 6% máximo establecido. Para la determinación de los nodos de propagación hay que tener en cuenta que según las normas de prevención en la Comunitat Valenciana, los tratamientos selvícolas preventivos deben ocupar un máximo del 6% de la superficie de terreno a defender según las recomendaciones de la Conselleria de Agricultura, Medio Ambiente, Cambio Climático y Desarrollo Rural. Estos tratamientos incluyen todas las actuaciones en materia de selvicultura preventiva, incluyendo cualquier actuación sobre la FCC o la vegetación arbustiva.

En primer lugar, se van a seleccionar las zonas propias de cada nodo, segregando el resto de información de la zona de estudio, para centrarse sólo en lo que contiene cada nodo, lo cual permitirá analizarlos con mayor detalle de forma individual numerados del 0 al 34. Este análisis incluye la piromorfología, los modelos de combustible, accesos, y modelos adyacentes.

Una vez seleccionados, se ha procedido a obtener la información contenida en cada nodo de propagación y en su entorno para ver la existencia de zonas de cultivo, puntos de agua y accesos, y como unirlos para crear polígonos cerrados.

Tras el análisis de cada nodo de propagación, la superficie total a tratar en todos los nodos se ha reducido a 3.588,57 ha, la cual se tendría que volver a recalcular, una vez replanteadas las actuaciones sobre el terreno. La distribución de las zonas de tratamientos (Figura 7).

El diseño de los nodos sobre el terreno hay que realizarlo teniendo en cuenta el comportamiento del incendio más desfavorable en la zona. En el caso que nos ocupa son los incendios de viento los que tendrían potencial para generar megaincendios. Esta tipología de incendios se caracteriza por tener un rápido avance de propagación, en la mayoría de los casos motivado por la gran generación de focos secundarios delante de la cabeza, que bajo unas condiciones meteorológicas extremas, puede ponerlos fuera de capacidad de extinción desde los primeros momentos, y que más tarde (días posteriores), si se produce un cambio de viento, puede abrir alguno de sus flancos y convertirlo en cabeza.

Es por esto que hay que trabajar sobre el comportamiento de incendio en la cabeza y flancos, y en su propagación por saltos de fuego, todo ello teniendo en cuenta la seguridad del personal de extinción para implementar las operaciones de combate. Así, se hace imprescindible analizar la piromorfología del terreno (CASTELLNOU et al, 2009), los modelos de combustible presentes, la localización de los accesos a cada zona y la distribución de combustibles en el entorno de los nodos.

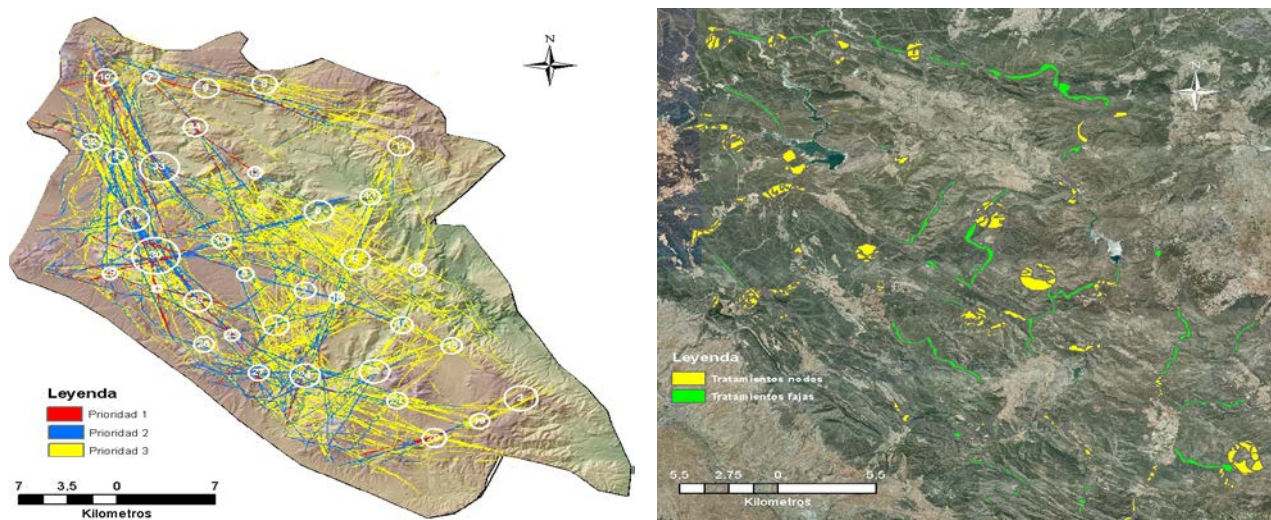


Figura 7. Relación de nodos de propagación seleccionados en Sot de Chera (izquierda) y Tratamientos a realizar en la zona de Sot de Chera para gestión de los nodos de propagación y las fajas auxiliares.

1. **Piromorfología.** Para diseñar el ataque al incendio, y especialmente a las zonas de cabeza, hay que buscar aquellas zonas en las que se den contravientos, ya que el incendio en ese lugar tendrá viento contrario al principal que propaga el incendio, a la vez que habrá que diseñar la zona de recepción de focos secundarios, para reducir al máximo el número de focos secundarios que se puedan dar. Para el control de flancos, lo que se propone es aprovechar áreas cortafuegos o zonas de cultivos que permitan realizar quemas de ensanche, y cerrar rápidamente los flancos de incendio con una dotación de efectivos reducida.
2. **Modelos de combustible.** El tratamiento de los modelos de combustible debe realizarse trabajando principalmente en el combustible de superficie reduciéndolo al máximo posible, pero con el límite de no generar otros procesos negativos, como pueden ser los erosivos. También se actuará sobre el arbolado, estableciendo un dimensionamiento distinto de la FCC del arbolado en las zonas de plena alineación de viento y pendiente, para reducir la probabilidad de tener incendios de copas activos o independientes, de la zona de recepción de pavesas, donde se podrán generar focos secundarios. En la zona mediterránea, la apertura de la entrada de luz al suelo mediante la eliminación del arbolado, favorece la regeneración del combustible de superficie, que es donde los focos secundarios tienen viabilidad, generándose en mayor o menor medida en función de que las condiciones ambientales sean más o menos adversas para el modelo presente, por tanto es importante mantener la zona limpia de modelos de pasto y matorral, o por lo menos que estos no sean continuos. Para ello se plantea dejar la FCC del arbolado lo más cercana al 100%. En ambos casos se debe eliminar la estructura en escalera de la vegetación para reducir la posibilidad de paso del incendio de superficie a copas.
3. **Accesos y puntos de agua.** En los nodos de propagación debe haber accesos en buen estado que permitan entrar con seguridad y celeridad a los medios de extinción al lugar de trabajo. Es deseable que en estos sitios existan reservas de agua para asegurar el suministro de las unidades durante el combate.
4. **La distribución de combustibles en la zona.** Hay que analizar también el combustible circundante al nodo de propagación, especialmente en lo que se refiere a zonas de cultivo o zonas desprovistas de combustibles inflamables, que permitan diseñar zonas de apoyo mediante su mantenimiento y/o recuperación.

5. Discusión

Las infraestructuras preventivas surgen en España para dar respuesta a los incendios de baja intensidad que existían en el siglo XIX, originados por la quema de pastos y actividades en el monte. Ya en el siglo XIX se crean los primeros campamentos forestales, para combatir los incendios acaecidos durante la época estival. La visión de la prevención en lo que se refiere a áreas cortafuegos se ha mantenido hasta la actualidad, y salvo en algunas excepciones como es el Plan de Selvicultura Preventiva de la Comunitat Valenciana, se ha seguido realizando de la forma tradicional, es decir, diseñado para incendios de baja intensidad, que con los medios actuales de extinción son fácilmente controlables, pero que no son acordes con los parámetros de los incendios de alta intensidad que actualmente se dan. A esto habría que añadir que el régimen de incendios ha cambiado, especialmente en lo que se refiere a intensidad, época y frecuencia.

En el contexto de cambio climático, se hace más necesaria que nunca la unión de las acciones de prevención y extinción de cara al régimen de incendios, donde mes a mes y año a año, se van batiendo los récords de temperaturas elevadas. La única manera de frenar el régimen de incendios esperado, es la modificación del paisaje, ya que en los modelos de cambio climático años como el 2012 están en la parte baja de la tabla de anomalías esperadas para el periodo 2011 – 2040, lo cual indica que el régimen de incendios fuera de capacidad de extinción y de megaincendios se espera que crezca en gran medida.

El simulador Wildfire Analyst funciona muy bien y de manera muy rápida en la simulación de incendios, lo cual le atribuye una gran capacidad para ser utilizado en operaciones reales de extinción, y por supuesto en análisis de prevención de incendios. El simulador es capaz de generar con mucha exactitud las carreras principales de GIF o megaincendios, sin necesidad de realizar ningún tipo de ajuste, lo que en operaciones puede ser muy útil a la hora de planificar operaciones en cabeza de incendio, a la vez que permite evaluar tiempos de evacuación. Por el contrario, sí que es necesario tener en cuenta que tiene una pequeña falta de ajuste en la apertura de los flancos en las simulaciones, que puede deberse a la influencia que sobre él ejerce el WindNinja (FORTHOFER, JM. et al; 2011) o a las operaciones de extinción. Es clave un buen conocimiento en la obtención de parámetros como combustibles forestales, meteorología y especialmente en fenología.

El establecimiento de los MTT en situaciones de meteorología variable no se corresponde en muchas ocasiones con la realidad, por lo que gracias a la gran velocidad de simulación que dispone Wildfire Analyst y su módulo de simulación probabilística, se ha podido realizar un estudio del territorio y generar simulaciones para cada punto con su meteorología más desfavorable a la hora de generar grandes incendios, y a través de sus resultados que pueden ser tratados mediante ArcGis, se han podido integrar todos ellos, obteniéndose las zonas donde estos se acumulan, o como se ha definido en este trabajo, los Nodos de Propagación que se pueden definir como aquellos lugares donde se acumulan los MTT sobre el territorio, para diferentes escenarios de incendios, desde diferentes puntos de inicio.

Estos nodos de propagación se diferencian de los puntos críticos (COSTA et al, 2011) en que los estos últimos se definen para localizar los puntos de inflexión del comportamiento de un determinado incendio a nivel operativo y normalmente están localizados en fondos de barranco, mientras que los nodos de propagación se determinan a escala de territorio, y coinciden con las zonas por donde propagan los incendios de viento procedentes de diferentes direcciones.

Una vez establecidos los nodos de propagación deben analizarse cuáles son los tratamientos acordes con los modelos de combustibles presentes, así como cuál es la forma idónea de realizar el mantenimiento de los mismos, para hacerla viable económicamente y prolongarla en el tiempo. Todos estos tratamientos deben ser acordes con la tipología de los incendios estudiados, en el caso de este estudio los incendios de viento. En todo caso, las zonas donde se definan los tratamientos a realizar deben catalogarse como zonas de alto interés estratégico para el mantenimiento de la cubierta forestal.

El estudio de los incendios de viento, haciendo mayor incidencia en su propagación, entrada del incendio en zonas de contraviento y proyección de focos secundarios, da una idea de cuáles son los lugares y las acciones en materia de prevención que permitirían frenar o parar estos incendios.

La ubicación estratégica de las áreas cortafuegos es fundamental en el control de los grandes incendios, y debe diseñarse teniendo en cuenta sus características y tipologías. Deben estar dotados de vías de comunicación en su interior (fajas auxiliares).

La mayoría de las respuestas que actualmente se dan en relación con la aparición de incendios son reactivas. En los últimos años se están incorporando unidades de analistas en muchos de los operativos de extinción, su análisis responde a una solución frente a un incendio declarado. Es deseable que su trabajo se centre en realizar previsiones de los incendios que puedan ocurrir sobre el territorio en años venideros, para transformar la respuesta de extinción reactiva en proactiva, y reducir los niveles de incertidumbre durante la gestión del incendio.

Por ello, se deben generar los planes de operaciones de extinción de incendios preestablecidos, que permitan anticiparse a los incendios fuera de capacidad de extinción, para los patrones meteorológicos indicados en cada caso. Estos planes de operaciones tendrán siempre en cuenta la seguridad del personal que debe ponerlos en práctica y estar entrenados mediante simulacros sobre el terreno.

Para la zona de Sot de Chera se han establecido 50 zonas de incendio, las cuales están perfectamente acotadas por los nodos de propagación para frenar las cabezas de incendio, y unidas entre sí por fajas auxiliares que permitan el cierre de los flancos.

6. Conclusiones

- a. Las actuaciones en materia de prevención forestal en España siguen rigiéndose por las directrices emanadas en la segunda mitad del siglo XIX, y aunque se han elaborado algunas propuestas para su modernización, pocas tienen en cuenta el comportamiento del fuego más allá de las condiciones meteorológicas y en muy pocas ocasiones la combinación de estas con las operaciones de extinción.
- b. La tipología de incendio que más superficie quema son los incendios de viento, sin embargo, en el contexto del cambio climático es de esperar que la incidencia de incendios convectivos se incremente.
- c. El simulador Wildfire Analyst funciona muy bien, de manera muy rápida en la simulación de incendios, lo cual le atribuye una gran capacidad para ser utilizado en operaciones reales de extinción.
- d. El módulo de simulación probabilística de Wildfire Analyst en combinación con un tratamiento GIS posterior de sus simulaciones, permite obtener las principales zonas donde se agrupan los caminos de fuego para diferentes condiciones meteorológicas sobre un determinado territorio.
- e. Los nodos de propagación obtenidos mediante el método propuesto coinciden con las principales carreras de propagación de los incendios históricos estudiados.
- f. Los nodos de propagación se pueden definir como aquellas zonas donde se acumulan los MTT generados desde diferentes puntos de inicio de incendio, los cuales se encuentran en plena alineación con las condiciones meteorológicas más desfavorables para ese punto, especialmente la dirección de viento, y suponen un gran avance en el análisis estratégico en relación con la prevención de incendios forestales, y con el diseño preestablecido de operaciones de extinción sobre el territorio.

- g. La obtención de planes de extinción sobre el territorio preestablecidos basados en los nodos de propagación, contribuye a reducir la incertidumbre a la vez que incrementa la seguridad durante las operaciones de extinción de incendios forestales.

7. Agradecimientos

A Jorge Suarez, Subdirector General de la Agencia de Seguridad y Respuesta a Emergencias de la Generalitat Valenciana por facilitar la información necesaria para realizar los diferentes procesos de análisis. A Joaquín Ramírez, y al personal de Tecnosylva Guillermo, Nacho y Santiago por su apoyo técnico a la hora de resolver ciertas dudas de diferente índole que me encontré a lo largo de la realización del trabajo.

8. Bibliografía

(CAMPBELL, D.); 1995. The Campbell Prediction System.

(CASTELLNOU, M.);(PAGÉS, J.);(MIRALLES, M.);(PIQUÉ, M.); 2009. Tipificación de los incendios Forestales en Cataluña. Elaboración del mapa de incendios de diseño como herramienta para la gestión forestal. Actas del 5º Congreso Forestal Español. Ávila.

(COSTA, P.);(CASTELLNOU, M.);(LARRAÑAGA, A.);(MIRALLES, M.);(KRAUS, D.); 2011. La Prevención de los Grandes Incendios Forestales adaptada al Incendio Tipo. Unitat Tècnica del GRAF. Departament d'Interior. Generalitat de Catalunya.

(FINNEY, M.A.); 2002. Fire growth using minimum travel time methods. Canadian Journal of Forest Research 32, 1420-1424.

(FORTHOFER, JM.);(SHANNON, KS.);(BUTLER, BW.); 2011. Initialization of high resolution surface wind simulations using National Weather Service (NWS) gridded data. In '11th International Wildland Fire Safety Summit. Missoula, MT', April 4-8, 2011. (International Association of Wildland Fire

(QUÍLEZ, R.); 2016. Prevención de Megaincendios Forestales mediante el diseño de Planes de Operaciones de Extinción Basados en Nodos de Propagación. Tesis doctoral. Universidad de León.

(QUÍLEZ, R.);(CHINCHILLA, S.); 2013. Modelos de combustible en la provincia de Valencia. 6º Congreso Forestal Español. Vitoria.

(RAMIREZ, J.);(MONEDERO, S.);(BUCKLEY, D.); 2011. New approaches in fire simulations analysis with Wildfire Analyst. 5th International Wildland Fire Conference. Sun City, South Africa. DOI: 10.13140/2.1.2045.7766

(SIMONS, N. E.); 2013. Improving Decision Making During Wildland Fire Events. San Diego State University and University of California