

# **GESTIÓN DE COMBUSTIBLE VEGETAL PARA LA PREVENCIÓN CONTRA INCENDIOS FORESTALES**

N. NOVO; M. F. MAREY

Departamento de Ingeniería Agroforestal. Escuela Politécnica Superior de Lugo.  
Universidad de Santiago de Compostela.

## **SUMMARY**

The vegetal fuel management is the manipulation, modification and reduction of the inflammable vegetation. Thus the reduction of the inflammable forest materials in critical zones are a effective fire prevention method. The fuel is a modifying factor of the fire behavior.

Generally, the technics of fire prevention are most effective and economic if they are realized along highways, tracks, railroad, electric lines... Thus, the fuels are eliminated or separated of fountains of ignition by technics of vegetal fuel reduction.

The application of BEHAVE has great interest in the defense against forest fires in the preventive aspect. This program help the technic in the planning and evaluation of results like the modification of fuel models, width of fire wall, support of forestry fireguard, replace of species, realization of prescribed burning...

**K.W.** : Forest fire, conversion, vegetal fuel, BEHAVE.

## **RESUMEN**

La gestión del combustible es la manipulación, modificación y reducción de la vegetación inflamable. Así, la reducción del conjunto de materiales inflamables forestales en determinadas zonas críticas es uno de los métodos de prevención de incendios más efectivo. La gestión del combustible es sumamente importante puesto que es el único factor que incide sobre el comportamiento del fuego sobre el que es posible actuar.

Generalmente las técnicas selvícolas de prevención de incendios son más efectivas y económicas si se realizan a lo largo de corredores de diversa índole, tales como carreteras, pistas, líneas de ferrocarril, líneas eléctricas, etc., logrando que los combustibles sean eliminados o separados de fuentes de ignición mediante técnicas selvícolas de reducción de combustible.

La aplicación del programa BEHAVE tiene gran interés en la defensa contra incendios forestales básicamente en su aspecto preventivo. Este programa puede ser un instrumento que ayude al técnico en la planificación y evaluación de resultados de acciones de selvicultura preventiva tales como la modificación de modelos de combustible, anchura de cortafuegos, necesidad de limpieza y mantenimiento de áreas cortafuegos, sustitución de especies, realización de quemas controladas, etc.

**P.C.:** Incendios forestales, conversión, selvicultura preventiva, combustible, BEHAVE.

## **INTRODUCCIÓN**

Hace más de una década en Estados Unidos comenzaron a aplicarse diferentes programas informáticos que servían de apoyo en la gestión del fuego controlado e incontrolado.

De ellos BEHAVE es el programa pionero en la simulación de incendios, y fue desarrollado por ROTHERMEL (1983). En España para su empleo se han ido incorporando modificaciones y se ha desarrollado una clave fotográfica que facilita la identificación de modelos estándar para todo el país (ICONA, 1990).

El ámbito de estudio en el que se va a aplicar el programa BEHAVE para analizar las posibles conversiones de combustibles es la Sierra del Páramo, que pertenece a los Términos municipales de O Páramo, Sarria y Paradela, dentro de la Provincia de Lugo y supone cerca de unas 14.000 ha.

## **MATERIAL Y MÉTODOS**

Los parámetros que condicionan el desarrollo de un incendio forestal son de tres tipos: combustibles, condiciones meteorológicas y condiciones fisiográficas. La topografía y la meteorología son factores externos sobre los que no cabe actuación, por el contrario, el combustible es susceptible de modificaciones y, muchas veces, es el factor principal que determina si se inicia un incendio, la dificultad de controlarlo y la probabilidad de comportamiento regular o irregular.

Estableciendo unas hipótesis que fijen unas condiciones atmosféricas medias o extremas según la finalidad del estudio, y una topografía determinada, pueden realizarse supuestos del

comportamiento del fuego para diferentes estructuras del combustible.

Por tanto fundamentalmente, esta misión preventiva se usa para poder evaluar la eficacia de las labores de selvicultura preventiva y poder llevar a cabo, sin riesgos, labores de quemas controladas.

Así se realizan simulaciones con BEHAVE para estimar las posibles transformaciones de combustible en las zonas críticas de un área determinada del territorio. De esta forma, se analizaron las variaciones en el comportamiento del fuego sobre los modelos de combustible presentes en el ámbito de estudio al variar las condiciones de viento, pendiente y humedad de los diferentes combustibles.

Esto permite determinar los combustibles potencialmente más peligrosos y analizar su comportamiento cuando se transforman en otros modelos, mediante prácticas selvícolas, más fáciles de gestionar desde el punto de vista de extinción de incendios.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### SIMULACIÓN CON BEHAVE

El programa informático de simulación BEHAVE, nos permite estimar el comportamiento del fuego sobre los distintos modelos de combustible en diversas condiciones y compararlas entre sí.

Las condiciones contempladas a la hora de realizar la simulación fueron las siguientes:

Pendiente: 5, 15, 25, 35%.

Velocidad del viento: 8, 15, 25 Km/h.

Humedad de combustible vivo: 100%.

Humedad de combustible muerto: 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12%.

Los valores seleccionados de pendiente y velocidad del viento son los más frecuentes en la zona de estudio; en el caso de la humedad del combustible vivo es el valor que refleja el estado en el que la vegetación ya posee el follaje maduro, con un nuevo crecimiento completo comparable al del follaje perenne antiguo (ICONA, 1990) y que es el estimado para la época de riesgo en la zona. Los diferentes valores que se aplican a la humedad del combustible muerto son debidos a que se pretende determinar la simulación en las condiciones más desfavorables. Se delimitan las condiciones de porcentaje de humedad de combustible fino muerto en función de su peligrosidad en cuanto a la ignición de manera que el porcentaje más crítico es el 5% (MOLINA & BARDAJÍ, 1998).

Una vez establecidos los condicionantes que afectan al comportamiento del fuego se realiza la entrada de dichos datos en el programa. Para ello, utilizamos el comando DIRECT del módulo FIRE1. Este comando va a integrar tanto la entrada de los datos para calcular la velocidad de propagación y longitud de llama.

Las Tablas 1, 2 y 3 reflejan los resultados más significativos en cuanto a velocidad de propagación y longitud de llama. Estos valores de velocidad de propagación y longitud de llama se pueden obtener en base a cualquiera de los tres parámetros siguientes: humedad de combustible fino muerto, pendiente o viento.

➤ En función de la humedad del combustible fino muerto(H-1hr):

Tabla 1. Velocidades de propagación y longitudes de llama en función de la humedad del combustible muerto.

H-1hr.	Velocidades de propagación (metros/minuto)							Longitud de llama (metros)						
	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 4	Modelo 5	Modelo 6	Modelo 9	Modelo 11	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 4	Modelo 5	Modelo 6	Modelo 9	Modelo 11
5	28,75	10,58	37,58	7,08	10,75	2,83	2,00	1,28	1,76	6,98	1,71	1,82	0,86	1,03
6	27,08	10,08	36,00	6,50	9,75	2,42	2,00	1,23	1,70	6,74	1,58	1,71	0,80	0,99
7	25,50	9,75	34,83	5,67	8,92	2,33	1,83	1,18	1,64	6,58	1,38	1,60	0,76	0,97
8	23,17	9,42	34,00	4,17	8,50	2,33	1,67	1,10	1,59	6,43	1,04	1,53	0,74	0,93
9	20,08	8,58	33,17	2,33	8,00	2,17	1,50	0,98	1,55	6,32	0,63	1,48	0,70	0,90
10	12,83	8,17	32,67	2,33	7,67	2,00	1,42	0,73	1,47	6,24	0,63	1,44	0,67	0,84
11	3,58	7,42	31,92	2,33	7,33	1,92	1,33	0,38	1,33	6,13	0,62	1,40	0,66	0,78
12	0,00	6,42	30,75	2,33	7,00	1,83	1,25	0,00	1,18	5,99	0,61	1,36	0,66	0,67

➤ En función de la pendiente:

Tabla 2. Velocidad de propagación y longitud de llama en función de la pendiente.

Modelo	Velocidad de propagación (m/min)				Longitud de llama (m)			
	PENDIENTE %				PENDIENTE %			
	5	15	25	35	5	15	25	35
1	15,79	16,54	17,96	20,21	0,81	0,83	0,87	0,93
2	8	8,29	8,96	9,96	1,45	1,48	1,54	1,64
4	32,13	32,75	34,21	36,38	6,23	6,32	6,46	6,68
5	3,88	3,92	4,13	4,46	0,98	0,99	1,03	1,09
6	7,79	8,00	8,67	9,50	1,47	1,50	1,56	1,64
9	2,08	2,13	2,25	2,46	0,70	0,71	0,74	0,95
11	1,46	1,58	1,67	1,79	0,84	0,86	0,90	0,95

➤ En función de la velocidad del viento:

Tabla 3. Velocidad de propagación y longitud de llama en función de la velocidad del viento.

Velocidad de propagación (m/min)							
Vel. vto.	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 4	Modelo 5	Modelo 6	Modelo 9	Modelo 11
8 Km/h	6,03	3,28	14,06	1,84	3,97	1,03	0,97
15 Km/h	13,88	7,19	29,66	3,59	7,63	1,88	1,47
25 Km/h	32,97	15,94	57,88	6,84	13,88	3,78	2,44
Longitud de llama (m)							
8 Km/h	0,55	1,02	4,45	0,73	1,12	0,51	0,69
15 Km/h	0,82	1,45	6,28	1,01	1,51	0,70	0,87
25 Km/h	1,21	2,11	8,54	1,33	1,99	0,99	1,10

Centrándonos en los datos referentes a la velocidad de propagación se puede apreciar que todos los modelos responden mucho más a las variaciones de viento, que a las modificaciones de humedad del combustible muerto o pendiente. De esta forma un aumento en la velocidad del viento de 10 Km/h produce incrementos en la velocidad de propagación de un intervalo al siguiente que van desde un 52% en el modelo 11 al pasar de una velocidad de 8 a 15 Km/h hasta un factor de incremento de 138% en el modelo 1 al pasar de 15 a 25 Km/h.

Los modelos de hojarasca bajo arbolado, en nuestro caso el modelo 11, se ven menos afectados por el cambio de viento, pues muestran unos incrementos relativos en la propagación algo inferiores (52% a 66%) a los producidos en otros modelos.

Otro dato de interés es el que reflejan las Tablas en cuanto a los incrementos considerables que se producen en la velocidad de propagación en el modelo 5 respondiendo a cambios en la humedad del combustible fino muerto sobre todo en variaciones de humedad del 8 al 7% (36% de incremento en la velocidad de propagación), o de un 9-8% (un incremento de 79% en la velocidad de propagación). Existe también un incremento muy significativo al reducir la humedad del combustible de un 11 a un 10% en el modelo 1 (del 258%).

Al igual que ocurría en la velocidad de propagación, en la longitud de llama las respuestas más contundentes se producen respondiendo a cambios de velocidad del viento. Así tenemos incrementos de un 26% en el modelo 11 hasta un factor de incremento de un 49% en el modelo 1 al pasar la velocidad del viento de 8 a 15 Km/h. El modelo 11, de hojarasca bajo arbolado vuelve a presentar unos incrementos relativos en la longitud de llama inferiores a los otros modelos.

De nuevo se observa un incremento considerable en la longitud de llama en variaciones de humedad de combustible fino muerto, sobre todo en el entorno del 8 al 7% (un incremento medio de 33% en la longitud de llama) y del 9 al 8% (incrementos medios de un 65% en la longitud de llama); en el modelo 1 también se aprecia un aumento relativo en la longitud de llama del 92% al reducirse la humedad del combustible del 11 al 10%. De esto último se puede deducir que el fuego en un modelo 1 con una humedad de combustible muerto mayor del 11% no será difícil de controlar.

Destacar de todos modos, que los incrementos en la longitud de llama en todos los grupos son de menor magnitud que los producidos en la velocidad de propagación.

## CONVERSIONES DE COMBUSTIBLES POR TRATAMIENTOS SELVÍCOLAS

El resultado de analizar las Tablas del comportamiento del fuego en diferentes modelos de combustibles bajo condiciones similares y críticas llevado a cabo, nos va a permitir establecer unas conversiones de combustibles en zonas estratégicas, de modo que modificando el modelo de combustible podremos encuadrar los valores de intensidad del fuego en términos que minimicen la dificultad para controlarlo por el personal de extinción.

En las Tablas 1, 2 y 3 se puede apreciar que el modelo de combustible 4 es el que presenta mayor virulencia a la hora de la propagación del fuego, por tanto, la reducción de los parámetros que caracterizan la evolución del fuego forestal en dicho modelo será sumamente importante puesto que se ve muy facilitada la extinción. Una transformación de este modelo en áreas puntuales permitiría disponer de zonas desde donde contener la propagación, que en el propio modelo 4 sería muy complicado. Teniendo en cuenta la definición de este modelo las posibles modificaciones y los tratamientos a seguir se muestran en la Tabla 4.

Tabla 4. Tratamientos selvícolas para conseguir las conversiones del modelo 4 a otros modelos de combustible.

Conversión al modelo	Tratamiento selvícola a aplicar
5	Desbroce, quema prescrita, pastoreo.
9	Desbroce intenso y poda baja. Instauración de masa arbolada si no existe.
2	Eliminación de matorral (desbroce, quema, pastoreo, etc.) y posterior siembra de especies pascícolas.
1	Eliminación de matorral (desbroce, quema, pastoreo, etc.) y posterior siembra de especies pascícolas.

**-Conversión del modelo 4 al modelo 5:** Mediante un desbroce, quema prescrita, pastoreo, etc. se eliminará el combustible. Posteriormente existirá un rejuvenecimiento del matorral, pero las cargas de combustible serán reducidas de forma considerable durante cierto período de tiempo. En las Tablas 5, 6 y 7 se observan las reducciones de los parámetros velocidad de propagación y longitud de llama para diferentes velocidades de viento, humedades de combustibles finos muertos y pendientes que supone la conversión del modelo 4 al 5. Se observa que los valores de velocidad de propagación del modelo 4 se reducen ostensiblemente, con un valor medio que gira en torno al 88%, mientras que los valores de longitud de llama del modelo inicial se reducen, como media, un 85%, reduciéndose este parámetro desde valores de 4 a 8 metros hasta llamas inferiores siempre a los dos metros.

**- Conversión del modelo 4 al modelo 9:** se consigue por un desbroce intenso del matorral y poda baja, o por una instauración de masa arbolada en el caso de que no exista. La transformación del modelo 4 en este modelo 9 genera las modificaciones reflejadas en las Tablas 5, 6 y 7. En este caso se observa que los valores de velocidad de propagación se reducen respecto al valor inicial del modelo 4 en un factor medio del 94% y los valores de longitud de llama correspondientes al modelo 4 se reducen en un factor del 88%.

**- Conversión del modelo 4 al modelo 2:** esta transformación se produce mediante un tratamiento que elimine el matorral (desbroce, quema, etc.) y tras una serie de labores se realizara la siembra de especies pascícolas para favorecer el empradizamiento. La transformación del modelo 4 en este modelo 2 genera las modificaciones reflejadas en las Tablas 5, 6 y 7. En este caso se observa que los valores de velocidad de propagación del modelo inicial se reducen en un factor medio del 75% y los valores de longitud de llama se reducen respecto al inicial en un factor medio del 76%.

**- Conversión del modelo 4 al modelo 1:** similar al proceso anterior. La transformación del modelo 4 en este modelo 1 genera las modificaciones reflejadas en las Tablas 5, 6 y 7. En este caso se observa que los valores de velocidad de propagación se reducen respecto al valor inicial del modelo 4 en un factor medio del 48% y los valores de longitud de llama se reducen en un factor del 87%.

De todas estas conversiones, la transformación del modelo 4 a modelo 5 es la más interesante desde el doble punto de vista de reducción de velocidad de propagación y de facilidad de realización,

puesto que las demás conversiones suponen implantación de vegetación y por tanto un proceso más largo en el tiempo.

Tabla 5. Velocidad de propagación y longitud de llama en el modelo y en función de la velocidad del viento.

Vel. vto. Km/h	Velocidad de propagación (m/ min)					Longitud de llama (m)				
	Modelo 4	Modelo 5	Modelo 9	Modelo 2	Modelo 1	Modelo 4	Modelo 5	Modelo 9	Modelo 2	Modelo 1
8Km/h	14,06	1,84	1,03	3,39	6,03	4,45	0,73	0,51	1,02	0,55
15 Km/h	29,66	3,59	1,88	7,46	13,88	6,28	1,01	0,70	1,45	0,82
25 Km/h	57,88	6,84	3,78	16,57	32,97	8,54	1,33	0,99	2,11	1,21

Tabla 6. Valores de velocidad de propagación y longitud de llama en los modelos en función de la humedad de combustible muerto.

H-1hr	Velocidad de propagación (m/min)					Longitud de llama (m)				
	Modelo 4	Modelo 5	Modelo 9	Modelo 2	Modelo 1	Modelo 4	Modelo 5	Modelo 9	Modelo 2	Modelo 1
5	37,58	7,08	2,83	10,58	28,75	6,98	1,71	0,86	1,76	1,28
6	36	6,50	2,42	10,08	27,08	6,74	1,58	0,80	1,70	1,23
7	34,83	5,67	2,33	9,75	25,50	6,58	1,38	0,76	1,64	1,18
8	34	4,17	2,33	9,42	23,17	6,43	1,04	0,74	1,59	1,10
9	33,17	2,33	2,17	8,58	20,08	6,32	0,63	0,70	1,55	0,98
10	32,67	2,33	2,00	8,17	12,83	6,24	0,63	0,67	1,47	0,73
11	31,92	2,33	1,92	7,42	3,58	6,13	0,62	0,66	1,33	0,38
12	30,75	2,33	1,83	6,42	0,00	5,99	0,61	0,66	1,18	0,00

Tabla 7. Valores de velocidad de propagación y longitud de llama en los modelos en función de la pendiente.

Pendiente	Velocidad de propagación					Longitud de llama				
	Modelo 4	Modelo 5	Modelo 9	Modelo 2	Modelo 1	Modelo 4	Modelo 5	Modelo 9	Modelo 2	Modelo 1
5%	32,13	3,88	2,08	8,00	15,79	6,23	0,98	0,98	1,45	0,81
15%	32,75	3,92	2,13	8,29	16,54	6,32	0,99	0,99	1,48	0,83
25%	34,21	4,13	2,25	8,96	17,96	6,46	1,03	1,03	1,54	0,87
35%	36,38	4,46	2,46	9,96	20,21	6,68	1,09	1,09	1,64	0,93

## CONCLUSIONES

El empleo de simuladores como BEHAVE para analizar las modificaciones que provoca en el comportamiento de un posible incendio la selvicultura preventiva (claras, podas, desbroces, etc.) es de gran utilidad y permite gestionar los medios económicos de forma eficaz y dirigido a las zonas de mayor riesgo. Las perspectivas que se abren con el empleo de este tipo de herramientas son enormes y de gran importancia dada la especial relevancia de los incendios y la cantidad de medios personales y económicos implicados.

## BIBLIOGRAFÍA

ICONA. MINISTERIO DE AGRICULTURA, PESCA Y ALIMENTACIÓN (1990). Clave

fotográfica para la identificación de modelos de combustible. Curso Superior sobre Defensa contra incendios forestales. *M.A.P.A.* Madrid.

MOLINA, D. Y BARDAJÍ, M. (1998). Criterios para la asignación de modelos de combustible: caso de la comarca del Solsonès (Lleida). *Revista Montes N°51*. pp 54-62.

ROTHERMEL, R.C. (1983). How to predict the spread and intensity of forest and range fires. *Gen. Techn. Rep.* INT-143. Ogden. UT.1983.