

# NEXUS: UN SISTEMA DE ESTIMACIÓN DE RIESGO DE FUEGO DE COPAS

Joe H. Scott\* & Elizabeth D. Reinhardt\*\*

\*Sistemas para la Gestión Forestal. Apdo. 8868. Missoula, MT, 59807. E-mail:joescott@montana.com

\*\*Estación de Investigación Rocky Mountain.USDA Forest Service. Laboratorio de Ciencias del Fuego Intermountain, Apdo. 8089. Missoula, MT, 59807. E-mail:ereinhardt/rmes\_missoula@fs.fed.us

## INTRODUCCIÓN

Los investigadores sobre fuegos forestales han desarrollado numerosos modelos de comportamiento del fuego en incendios forestales. Muchos de estos modelos han dado lugar a sistemas de predicción como el BEHAVE (ANDREWS, 1986), FARSITE (FINNEY, 1988), la versión comercial de BEHAVE para Remsoft<sup>1</sup>, el FBO, el sistema Canadiense de predicción de comportamiento del fuego forestal (Forestry Canada Fire Danger Group, 1992). Una revisión de BEHAVE está ahora en desarrollo por el Laboratorio de Ciencias del Fuego de Intermountain (Servicio Forestal, Departamento de Agricultura de EEUU). Los técnicos de incendios están cada vez más interesados en realizar estimaciones del riesgo de fuego de copas y diseñar tratamientos para reducir ese tipo de riesgo. De los sistemas actualmente disponibles, solamente FARSITE y el Sistema canadiense FBP poseen capacidades de predicción de fuego de copas.

Aunque FARSITE ha sido usado para determinar el potencial de ese tipo de fuegos, es tedioso si el usuario requiere sólo un análisis sencillo, no espacial. Ninguno de los sistemas está diseñado específicamente para

estimar riesgos de fuego de copas y de superficie.

Este trabajo describe un nuevo sistema llamado NEXUS, una “hoja de cálculo” basado en Excel, que integra predicciones de fuego superficial y de copa y determina dos índices de riesgo de fuego de copas. Además NEXUS también predice el comportamiento del fuego de superficie como en el módulo FIRE1 de BEHAVE. Ello permite al usuario comparar hasta seis complejos de combustible de superficie y copa y posibilita la construcción y ajuste de modelos de combustible superficiales específicos. NEXUS se desarrolló al principio como una herramienta de investigación para calcular índices de riesgo de fuego de copa para comparar a la reducción de riesgo propuesta, complementándose y refinándose más tarde.

## MODELOS INCLUIDOS EN NEXUS

NEXUS incluye modelos de comportamiento del fuego de superficie, copa y de transición entre ambos así como de riesgo de fuego de copas. Al igual que otros sistemas de predicción, el comportamiento del fuego superficial es predicho usando el modelo matemático de ROTHERMEL (1972). El comportamiento potencial de un fuego activo de copas se estima por la correlación de ROTHERMEL (1991) con las predicciones del

<sup>1</sup>La mención de nombres o productos registrados es con fin informativo.

<i>Tabla 1.- La tabla de datos de entrada (inputs) de NEXUS permite introducir directamente el número del modelo de combustible, humedades de combustible, características de los combustibles de copa, factor de reducción del viento y multiplicador carga/altura de combustible. Se pueden considerar hasta seis escenarios de complejos de combustible que pueden variar en cualquiera o en todos los inputs anteriores.</i>								
Analista: Joe Scott		Nombre del Proyecto: Big Fire				Fecha: 21/10/98		
Punto de proyección		A	B	C	D	E	F	
Modelos de combustible		4	5	6	7	8	10	Unidades
Humedad combustible muerto	Acículas	0	0	0	0	0	0	porcentaje
	1h	8	8	8	8	4	4	porcentaje
	10h	8	8	8	8	5	5	porcentaje
	100h	10	10	10	10	7	7	porcentaje
Humedad combustible vivo	vivo 1	100	100	100	100	100	100	porcentaje
	vivo 2	120	120	120	120	120	120	porcentaje
	vivo 3	120	120	120	120	120	120	porcentaje
Combustibles de copa	densidad aparente	0.00	0.00	0.00	0.00	0.15	0.15	kg/m <sup>3</sup>
	cubierta copas	0	0	0	0	75	75	porcentaje
	contenido humedad foliar	100	100	100	100	100	100	porcentaje
	altura base copas	0.0	0.0	0.0	0.0	5	5	pies
	altura copa	0.0	0.0	0.0	0.0	80	80	pies
Sitio	pendiente	20	20	20	20	20	20	porcentaje
	velocidad viento a 6 m (20ft)	18	18	18	18	18	18	milla/hora
	dirección el viento desde la cumbre de la ladera	0	0	0	0	0	0	grados
	factor de reducción del viento	0.4	0.4	0.4	0.4	0.15	0.15	fracción
Multiplicadores	Velocidad de propagación superficial, ROS	1	1	1	1	1	1	
	velocidad de propagación del fuego de copas	1	1	1	1	1	1	
	carga/altura	1	1	1	1	1	1	

modelo 10. La conexión entre las predicciones de fuegos de superficie y de copa está basada en el trabajo de VAN WAGNER (1977) que fija los puntos de transición entre fuego de superficie, fuego de copas pasivo (entorchamiento de las copas, con una ignición intermitente de éstas...) y el fuego de copa activo (el que se traslada de una carrera continua por el estrés de copas). El comportamiento del fuego final (completo) se estima combinando las predicciones de comportamiento de fuego de superficie y de copa usando la función de transición que nos da la fracción de copa quemada, desarrollada por VAN WAGNER (1993). NEXUS también inclu-

ye un modelo de la forma y tamaño del fuego (como el BEHAVE) y calcula dos índices de riesgo de fuego de copa (SCOTT & REINHARDT, en preparación).

### Rasgos de NEXUS

La versión actual de NEXUS tiene los siguientes rasgos:

- Comparaciones directas del comportamiento y riesgo de fuego de hasta seis diferentes complejos de combustible de superficie y copa. El usuario introduce datos de entrada en una tabla (Tabla 1) especifican-

**Tabla 2.-** La tabla de salida estándar de NEXUS contiene predicciones del comportamiento del fuego de superficie (como en BEHAVE), tipo y comportamiento del fuego conjunto (fuego superficial, fuego de copas pasivos o fuego de copas activos, parámetros críticos para el inicio del fuego de copas e índices de riesgo de fuego de copas.

SALIDAS	ESCENARIO DE COMBUSTIBLE						
	A	B	C	D	E	F	
tipo fuego copa	surface	surface	surface	surface	surface	pasivo	
fracción copa quemada	05	0%	0%	0%	0%	19%	porcentaje
velocidad propagación	128.3	37.5	55.7	48.8	1.3	14.3	Cadena/h
calor/area	2811	589	467	523	211	2461	BTU/pie <sup>2</sup>
intensidad lineal	8142	405	477	448	5	643	BTU/pie/s
longitud llama	24.9	7.1	7.7	7.5	0.9	20.3	pie
intensidad reacción superficial	11825	2582	1903	2127	1035	6353	BTU/pie <sup>2</sup> /s
factor reducción viento	0.40	0.40	0.40	0.40	0.15	0.15	fracción
viento efectivo a media llama	7.4	7.4	7.4	7.4	3.0	3.9	Milla/hora
dirección de máxima propagación	0	0	0	0	0	0	grados
altura chamuscado	342	42	48	45	1	76	pies
longitud/anchura	2.8	2.8	2.9	2.8	1.8	2.0	Ratio
velocidad de crecimiento del perímetro superficie del fuego	297.3	86.6	128.8	107.9	4.0	36.8	Cadena/h
distancia de propagación en mapa	483	41	91	64	0	9	acre
	4.23	1.24	1.84	1.54	0.04	0.47	pulgadas
	Valores críticos para fuego de copas						
Índice de entorchamiento	N/A	N/A	N/A	N/A	188.5	12.6	milla/h
Índice de fuego copas	N/A	N/A	N/A	N/A	19.7	19.7	milla/h
Intensidad superficial	N/A	N/A	N/A	N/A	92	92	milla/h
Velocidad propagación fuego superficial	N/A	N/A	N/A	N/A	24	4	cadena/h
altura base copa	N/A	N/A	N/A	N/A	1	6	pie
velocidad propagación fuego copas	N/A	N/A	N/A	N/A	60	60	cadena/h

do el modelo de combustible, humedad del combustible superficial, características del combustible de copa (densidad aparente, altura de la base de la copa, altura total de la masa y contenido de humedad foliar de las copas), factores de reducción del viento para estimar la velocidad del viento a media llama a partir de la medida a 6m, y si lo desea, un factor multiplicador para la velocidad de propagación o la relación carga/altura del combustible.

Constantes como fracción mineral, densidad de partículas, etc. se introducen en una tabla por separado.

#### UNIDADES:

1 Cadena = 20,1 m

1 pie = 0,3050 m

1 BTU.pie<sup>-2</sup> = 11,40 kJ.m<sup>-2</sup>

1 BTU. pie<sup>-2</sup>. s<sup>-1</sup> = 11,40 kJ.m<sup>-2</sup>

1 Milla.h<sup>-1</sup> = 1609 km.h<sup>-1</sup>

1 cadena.h<sup>-1</sup> = 0,333 m.min<sup>-1</sup>

1 acre = 0,405 ha

1 pulgada = 0,25 cm.

- Salida estándar en forma de tabla para los seis complejos de combustible. Las salidas estándar (Tabla 2), incluyen: comportamiento del fuego superficial (velocidad de propagación, calor/área, intensidad lineal, intensidad de reacción, longitud de llama, velocidad efectiva del viento a 6 m y a media llama, dirección de máxima velocidad, ratio longitud/anchura de la superficie quemada, longitud y velocidad de crecimiento del perímetro, área quemada, potencia del fuego y del viento), comportamiento conjunto del fuego (tipo de fuego, fracción de copa quemada, velocidad de propagación, intensidad lineal y potencia del fuego y del viento), parámetros críticos para el inicio y sostenibilidad del fuego de copas e índices de riesgo de fuego de copas.

- Salidas automáticas en forma gráfica y tabular sobre un rango de velocidades de viento. Las características de comportamiento del fuego (intensidad del fuego superficial, velocidad de propagación y longitud de llama, intensidad lineal conjunta del fuego, velocidad de propagación y fracción de la copa quemada) se calculan de forma automática para un rango de velocidades de viento medidas a 6 m (20ft) desde 0 a 96 km.h<sup>-1</sup> (0-60 m.p.h.) con incrementos de 8 km.h<sup>-1</sup>. Esta salida aparece tanto en tablas como en gráficos.

- Factores de ajuste de la velocidad de propagación y de modelos de combustible. El usuario puede realizar análisis de sensibilidad mediante factores de ajuste. El factor de ajuste de la velocidad de propagación afecta a ambos, velocidad de propagación e intensidad (esto es, calor por unidad es constante). El factor de ajuste carga/altura del combustible afecta a modelos mismo de combustible y, en consecuencia, afecta a todas las predicciones de comportamiento del fuego.

- Hoja de trabajo para diseñar y testar modelos de combustible específicos. El usuario puede crear fácilmente o ajustar un modelo de combustible usando “barras deslizantes” y entrando directamente la carga y los ratios superficie/volumen. Los

resultados son comparados gráficamente de forma instantánea con otro modelo estándar o específico.

- Integración de las predicciones de comportamiento del fuego superficial y de copa. La transición entre fuego de copa y superficie se predice a partir de las características del complejo de combustible. La transición está basada en la función desarrollada por VAN WAGNER (1993) de la fracción de copa quemada.

- Estimación del riesgo de fuego de copas. NEXUS calcula la velocidad de viento crítica requerida para iniciar y sustentar un fuego de copas. Una tabla de riesgo de fuegos de copas aparece en pantalla para cualquiera de los seis complejos de combustible descritos en la tabla de entrada. Esta tabla de salida muestra la velocidad combinada de propagación y la fracción de copa quemada.

- Una salida gráfica en pantalla muestra el tamaño y forma del fuego en relación al viento/pendiente. También aparece un gráfico mostrando la forma y orientación (relativa a la máxima pendiente desde arriba) del fuego para cada uno de los seis complejos de combustible. Esto se puede usar para examinar las relaciones entre velocidad del viento, dirección del viento y de la pendiente para diferentes modelos de combustible. El uso de “barras deslizantes” para algunos datos de entrada permite la “animación” de este análisis.

## PROS Y CONTRAS DE LA PLATAFORMA DE LA “HOJA DE CÁLCULO”

Esta hoja es un ambiente flexible de programación. Los modelos son fáciles de construir, actualizar y corregir. Nuevos modelos o modelos específicos pueden añadirse por cualquier usuario con conocimientos. El código “expuesto” y los rasgos “audibles” permiten al usuario ver claramente qué variables afectan a las salidas. Las “hojas de cálculo” han incorporado herramientas de análisis (tablas de sensibilidad, escenarios de entrada, “backward volving”, etc.) que pue-

den ser usados en análisis de comportamiento del fuego y desarrollo de prescripciones. La entrada de inputs es lógica y sencilla. Las conexiones con las gráficas y con programas “procesadores de textos” son simples en el sistema operativo Windows.

Sin embargo, el usuario debe tener ya el programa de “hoja de cálculo”, corrido en su ordenador. Además en una hoja de propagación hay menos control de los input del usuario y menos oportunidad para atrapar los errores que en un programa convencional de ordenador. En consecuencia, el usuario debe aceptar más responsabilidad para asegurar que los inputs son correctos cuando usa esta plataforma de “hoja de cálculo” (spread sheet platform).

## DESARROLLO FUTURO

Tiene que desarrollarse un manual del usuario antes de que NEXUS pueda estar disponible para los técnicos de incendios. Además, es preciso un trabajo describiendo la integración de las predicciones de comportamiento del fuego superficial y de copas así como de los índices de riesgo de fuego de copas. Cuando se completen esas tareas, NEXUS se distribuirá vía Internet. El soporte técnico puede ser en la forma de un grupo de discusión en la línea de apoyo al usuario similar al de FARSITE. Muchos de los rasgos particulares de NEXUS pueden quizás ser incorporados en la versión actual de BEHAVE.

## Agradecimientos

Esta investigación fue apoyada económicamente por la Rocky Mountain Research Station, Forest Service, U.S. Department of Agriculture; y por Seymour Johnson Air Force Base, U.S. Air Force, U.S. Department of Defense.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALEXANDER, M.E. 1985. *Estimating length-to-breadth ratios of elliptical forest fire patterns*. In: Proceedings of the Eighth Conference on Fire and Forest Meteorology.

Bethesda; MD: Society of American Foresters;483-489.

ANDREWS, P.L. 1986. *BEHAVE: Fire behavior prediction and fuel modelling system BBURN Subsystem*, Part.1. Gen.Tech.Rep.INT-194.Ogden, Utah:Intermountain Forest and Range Experiment Station, Forest Service, U.S. Department of Agriculture;130p.

BYRAM, G.M. 1959. *Forest Fire Behavior*. In: *Forest Fire: Control and Use*. Cap. 4, 20 ed. New York: McGraw-Hill;91-123.

FINNEY, M.A. 1998. *FARSITE: Fire Area Simulator-model development and evaluation*. Res.Pap.RMRS-4.Ft.Collins,CO: Rocky Mountain Research Station, Forest Service, U.S. department of Agriculture; 47 p.

FORESTRY CANADA FIRE DANGER GROUP. 1992. Development and structure of the Canadian Forest Fire Behaviour Prediction System: *Forestry Canada*.Inf.Rep.ST-X-3.

ROTHERMEL, R.C.1972. *A mathematical model for predicting fire spread in wildland fuels*. Gen,Tech. Rep. INT-115. Ogden, Utah: Intermountain Forest and Range Experiment Station, Forest Service, U.S. department of Agriculture; 46 p.

ROTHERMEL, R.C. 1991. *Predicting behavior and size of crown fires in the Northern Rocky Mountains*. Gen tech. Rep. INT-438. Ogden, Utah: Intermountain Research Station, Forest Service, U.S. Department of Agriculture; 46 p.

SCOTT, J.H.; E.D. REINHARDT. In preparation. *Assessing crown fire hazard by linking models of surface and crown fire behavior using Wan Wagner's transition criteria*. Unpublished draft on file at Intermountain Fire Sciences Laboartory, Missoula, Montana.

VAN WAGNER, C.E. 1973. Height of crown scorch in forest fires. *Canadian Journal of Forest Research* 3: 373-378.

VAN WAGNER, C.E. 1977. Conditions for the start and spread of crown fire. *Canadian Journal of Forest Research* 7: 23-34.

VAN WAGNER, C.E. 1993. Prediction of crown fire behavior in two stands of jack pine. *Canadian Journal of Forest Research* 23:442-449.