



Plan Nacional de Manejo del Fuego
Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable

ISSN 2313-9420



Secretaría
de Ambiente
y Desarrollo
Sustentable



Jefatura de
GABINETE de Ministros

Evaluación de peligro de incendios.
Informes técnicos

Sistemas de Evaluación de Peligro de Incendios

INFORME TÉCNICO N°1

María del Carmen Dentoni
Miriam Marcela Muñoz



Programa Nacional de Evaluación
de Peligro de Incendios y Alerta Temprana

INFORME
TÉCNICO N°
1



Jefatura *de*
GABINETE *de* Ministros

Evaluación de peligro de incendios. Informes técnicos

Informe Técnico N° 1 . Sistemas de Evaluación de Peligro de Incendios

Autores: María del Carmen Dentoni y Miriam Marcela Muñoz.

Editor: Plan Nacional de Manejo del Fuego. Programa Nacional de Evaluación de Peligro de Incendios y Alerta Temprana.

Ruta 259 Km 4 - Esquel, Chubut, Argentina.

Publicación seriada de periodicidad irregular. ISSN 2313-9420 - Mayo de 2012

Evaluación de peligro de incendios.
Informes técnicos

Informe Técnico N° 1

**Sistemas de Evaluación
de Peligro de Incendios**

María del Carmen Dentoni
Miriam Marcela Muñoz

Esquel, Chubut, Argentina
ISSN 2313-9420
Mayo de 2012

Programa Nacional de Evaluación
de Peligro de Incendios
y Alerta Temprana

Plan Nacional de Manejo del Fuego
Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable

Este documento fue elaborado en el año 1999, con el objeto de efectuar una revisión de los principales Sistemas de Evaluación de Peligro de Incendio, que ayudara a una mejor comprensión del concepto de “peligro de incendio” y de las metodologías existentes hasta ese momento para evaluarlo. Dado que el mismo fue utilizado como documentación de base para definir que Sistema se utilizaría en el país, decidimos que se constituyera en el primero de los informes técnicos de la Serie de Informes Técnicos del Programa de Evaluación de Peligro de Incendios y Alerta Temprana, conservando sus contenidos originales.

Contenido

| | |
|--|----|
| Introducción | 7 |
| 1. Sistemas compuestos por un único índice | 9 |
| 1.1 Índice de Nesterov | 9 |
| 1.2 Índice de Telysin | 10 |
| 1.3 Índice de Monte Alegre o de Soarez | 10 |
| 1.4 Índice de peligro desarrollado en Francia..... | 11 |
| 1.5 Índice de peligro de propagación de incendios forestales, desarrollado por Rodríguez y Moretti..... | 11 |
| 2. Sistemas compuestos por varios índices | 13 |
| 2.1 Sistema de evaluación de peligro de incendios canadiense | 13 |
| 2.2 Sistema de evaluación de peligro de incendios de los Estados Unidos | 18 |
| Variables de entrada..... | 19 |
| Variables de salida | 20 |
| 2.3 Sistema Métrico de Peligro de Incendios de Mc Arthur | 21 |
| 2.4 Sistema utilizado en España | 23 |
| 3. Índices complementarios | 25 |
| 3.1 Índices de sequía | 25 |
| 3.1.1 Índice de Severidad de Sequía de Palmer | 26 |
| 3.1.2 Índice de sequía de Keetch - Byram | 28 |
| 3.2 Índices de estabilidad atmosférica | 29 |
| 3.2.1 Índice de Severidad de la Baja Atmósfera | 30 |
| 3.3 Índices de Vegetación | 30 |
| 3.3.1 Índices de Vegetación | 30 |
| Bibliografía Citada y Consultada | 33 |
| Anexo I | 35 |

Introducción

El inicio de un incendio está condicionado a la presencia de una fuente de ignición, ya sea ésta natural o antrópica. Dada la fuente de ignición, diversos factores ambientales condicionan la ocurrencia de un foco. Las características de la vegetación y el estado del tiempo, como así también la topografía, serán factores determinantes del posterior comportamiento del fuego. Asimismo, la evolución del incendio estará condicionada por las acciones que se tomen para su supresión; las características del terreno donde se desarrolle el fuego, las vías de acceso y la cercanía a fuentes de agua, serán todos factores que contribuirán al grado de dificultad que presentarán estas acciones.

Diversos sistemas se han desarrollado con el objetivo de evaluar los factores condicionantes de la ocurrencia, el comportamiento y los efectos de los incendios. Aquellos sistemas que evalúan la probabilidad de que exista una fuente de ignición, se denominan **sistemas de evaluación de riesgo** de incendio. Aquellos sistemas que, además del riesgo, toman en cuenta la probabilidad de ignición, las características del comportamiento del fuego en caso que un foco prospere, las dificultades para el control y los daños que causaría, se denominan **sistemas de evaluación de peligro** de incendio.

Los sistemas de evaluación de riesgo y/o peligro de incendio se componen de índices (ver Anexo I), cada uno de los cuales es un indicador de la contribución de un determinado factor a la probable ocurrencia, el comportamiento y los efectos de un incendio. Los más simples se componen de un único índice, que generalmente toma en cuenta solo el efecto de la temperatura, la humedad relativa y la precipitación para proveer información sobre la probabilidad de ignición, dada la existencia de una fuente de ignición. Sistemas más complejos incorporan relaciones entre las variables del tiempo, el estado de los combustibles y el comportamiento del fuego, para producir indicadores que provean una medida cuantitativa de las dificultades de control, en términos de características del frente de llamas, y del daño o impacto potencial que causaría el incendio.

Existen también otros tipos de índices que enfatizan sobre el comportamiento de una única variable y que se utilizan para complementar a los sistemas de evaluación de peligro de incendios. Así encontramos índices de sequía que evalúan la disponibilidad de agua o estado de humedad de los combustibles; o índices de estabilidad que permiten conocer las condiciones de estabilidad de la atmósfera.

Los sistemas de evaluación de peligro son herramientas imprescindibles para la planificación de actividades de prevención de incendios. Los mismos

son indicadores útiles de las áreas donde es necesario efectuar reducción de combustibles y del momento más adecuado para realizarlas, de como decidir la asignación de recursos antes y durante el desarrollo de las temporadas de incendios y de cómo evaluar con mayor objetividad la eficiencia de las medidas de prevención y de las técnicas de supresión aplicadas.

El desarrollo de un sistema de evaluación de peligro de incendios, requiere de una gran inversión de tiempo y de recursos humanos y económicos. A modo de ejemplos, el Sistema de Evaluación de Peligro de Incendios Canadiense, es el resultado de un proceso de investigación a lo largo de un período de 70 años; y el sistema utilizado hoy en el oeste de Australia demandó la inversión de aproximadamente 6 millones de dólares australianos y un período de investigación y desarrollo de 40 años.

Por lo dicho anteriormente, se deduce que la utilización de un sistema de evaluación de peligro de incendios ya existente reduce significativamente las inversiones de tiempo y de dinero a los organismos de manejo del fuego; es por ello común la adopción total o parcial, de sistemas existentes. Un ejemplo es el Sistema Canadiense adoptado parcial o completamente en regiones como Alaska, y en países como Fiji y Nueva Zelanda. Asimismo, el índice de sequía conocido como Keetch-Byram, desarrollado en los Estados Unidos, ha sido adoptado en Indonesia.

Si bien la adopción de un determinado sistema puede permitir la reducción de costos de investigación y desarrollo, los costos de aplicar un sistema de evaluación de peligro que no se ajuste al ecosistema al cual se lo aplica, pueden ser mayores por inducir a decisiones de manejo inadecuadas. Por este motivo, la adopción de cualquiera de estos sistemas requiere de experiencias de prueba que permitan efectuar los ajustes adecuados para cada región.

En algunas regiones de nuestro país se utilizan diversos índices de peligro; sin embargo, no se ha definido aún un criterio nacional sobre la metodología a seguir para la evaluación de peligro. La Organización Meteorológica Mundial (OMM), aconseja la adopción de un único sistema a nivel nacional, que permita la comparación de las condiciones de peligro entre distintas regiones y asegure la adecuada asignación de recursos de prevención, supresión e investigación.

Dado que la decisión de optar por el desarrollo de un nuevo sistema o la adopción de alguno de los que se encuentran en uso, debe estar fundamentada en el conocimiento de los sistemas existentes, presentamos en este trabajo la descripción de algunos de los sistemas utilizados en distintos países.

Asimismo, describimos los criterios con los que fueron desarrollados y sus alcances y limitaciones.

1. Sistemas compuestos por un único índice

1.1 Índice de Nesterov

El índice de ignición de Nesterov es el más frecuentemente utilizado de los diversos índices desarrollados en la antigua Unión Soviética. El mismo, es utilizado como un índice de ignición en el área de cobertura de una determinada estación meteorológica.

En su forma original, su ecuación básica es:

$$N = \sum (d.t)$$

donde:

N: índice de Nesterov

d: déficit de saturación del aire¹ (mb)

t: temperatura del aire (°C)

Los cálculos se inician en la primavera, el primer día que la temperatura supera los 0°C y después que la nieve se ha derretido. Una precipitación mayor o igual a 3 mm reduce el valor del índice a cero y la sumatoria comienza nuevamente.

Las clases de peligro se determinan de acuerdo con la siguiente tabla:

| Clase de Peligro | Valor del Índice |
|------------------|------------------|
| Nulo (I) | ≤ 300 |
| Bajo (II) | 301 - 500 |
| Moderado (III) | 501 - 1000 |
| Alto (IV) | 1000 - 4000 |
| Extremo (V) | ≥ 4000 |

El límite superior para la clase de peligro “nulo”, se estableció para aquel valor del índice por debajo del cual no habían ocurrido incendios en 10 años. La clase de peligro “moderado” se estableció para aquel valor del índice, tal que quedaran incluidos en la clase el 25 % de los fuegos.

¹ Se denomina déficit de saturación a la diferencia neta entre la presión de vapor y la presión de vapor de saturación.

Gritsenko propuso en 1952 una modificación de este índice, consistente en utilizar para el cálculo el déficit de saturación, corregido por la precipitación ocurrida en los últimos cuatro días.

1.2 Índice de Tellysin

El índice de Tellysin también fue desarrollado en la antigua Unión Soviética. Su ecuación básica es la siguiente:

$$T=\Sigma \log(t-td)$$

donde:
T: índice de Tellysin
t: temperatura del aire (°C)
td: punto de rocío (°C)

Si hay una precipitación superior a 2,5 mm el índice se hace cero, y comienza una nueva sumatoria al día siguiente.

1.3 Índice de Monte Alegre o de Soarez

El índice de Monte Alegre fue desarrollado para ecosistemas húmedos del sudeste de Brasil. Su ecuación básica es la siguiente:

$$FMA = 100 \Sigma 1/H$$

donde:
FMA: Índice de Monte Alegre
H: Humedad relativa a las 14 horas

El FMA es un coeficiente acumulativo, que categoriza el peligro de incendios de vegetación, tal como se muestra en la tabla 1. Cuando se producen precipitaciones durante el período de observación, el FMA es corregido de acuerdo con la precipitación caída, tal como se muestra en la tabla 2.

Tabla 1. Escala de peligro

| Valor | Grado de peligro |
|----------|------------------|
| 1 | Nulo |
| 1.1 – 3 | Bajo |
| 3.1 – 8 | Medio |
| 8.1 – 20 | Alto |
| +20 | Muy alto |

Tabla 2. Descuento por lluvia (%)

| Milímetros caídos | % descontado |
|-------------------|---------------------------|
| -2.4 | ninguno |
| 2.5 - 4.9 | 30 |
| 5 - 9.9 | 60 |
| 10 - 12.9 | 80 |
| +13 | recomenzar el acumulativo |

Este índice se aplica en la región sudeste de Brasil y en algunas provincias del norte y noreste de Argentina.

1.4 Índice de peligro desarrollado en Francia

El Servicio Meteorológico Nacional francés desarrolló un índice para evaluar el peligro de incendios, el mismo se basa en la estimación de sequía acumulativa y en la velocidad del viento. La sequía se calcula mediante una versión modificada de la fórmula de cálculo de evapotranspiración de Thornthwaite.

La evapotranspiración real, se deduce por una función exponencial negativa dependiente del contenido de humedad del suelo. El contenido de humedad del suelo, se calcula sumando la precipitación y restando la evapotranspiración potencial, a un máximo de 150 mm de agua.

El análisis por discriminantes basado en el número de incendios diarios, dio como resultado la siguiente fórmula:

$$F = a + bR - cV - fV^2 + dN + eQ$$

donde:

F: número positivo, cuyo valor aumenta a medida que disminuye el riesgo, y decrece hasta alcanzar valores negativos a medida que el riesgo aumenta.

R: humedad estimada sobre el suelo

V: velocidad del viento

N: número de días desde la última lluvia caída.

Q: cantidad de la última lluvia caída

a, b, c, d y e: coeficientes empíricamente determinados

Dado que este índice está relacionado con la humedad de combustibles mayores o iguales a las 100 horas, a través de la evaluación de sequía, y sumándole información de velocidad del viento puede utilizarse como un índice de quema.

1.5 Índice de peligro de propagación de incendios forestales, desarrollado por Rodríguez y Moretti.

Este índice fue desarrollado para la Región Andino Patagónica, en base al análisis de correlaciones entre las variables meteorológicas consideradas y la ocurrencia y magnitud de los incendios, durante las temporadas de incendios 84-85, 85-86 y 86-87.

Las variables consideradas fueron: temperatura, humedad relativa, viento y días consecutivos con o sin precipitación. Se asumió que cada una de las variables utilizadas explicaba un determinado porcentaje del peligro total de

propagación del fuego. Las dos primeras variables determinan el contenido de humedad y la resistencia a la ignición de los combustibles; la ocurrencia o no de precipitación determinan la alternancia entre periodos secos y húmedos. El peso asignado a cada variable se determinó según el sistema Delphi.

El valor del índice se obtiene sumando los valores de las tablas 1, 2, 3 y 4, en las que las variables meteorológicas fueron observadas a las 15 hs. Los días de sequía se cuentan a partir del último día con precipitación menor de 2 mm. Cuando se hace el cálculo en un día que se produce una precipitación mayor o igual a 2 mm, el valor a sumar en la tabla 4, es nulo; al segundo día con precipitación, el valor obtenido de la suma de los valores de las tablas 1, 2 y 3 se multiplica por 0,8; al tercer día se multiplica por 0,6 y así sucesivamente.

Tabla 1

| Temperatura °C | Índice |
|----------------|--------|
| menos de 10 | 2.5 |
| 10 a 11.9 | 5.0 |
| 12 a 13.9 | 7.5 |
| 14 a 15.9 | 10.5 |
| 16 a 17.9 | 12.0 |
| 18 a 19.9 | 15.5 |
| 20 a 21.9 | 17.5 |
| 22 a 23.9 | 20.0 |
| 24 a 25.9 | 22.5 |
| 26 o más | 25.0 |

Tabla 2

| Humedad % | Índice |
|------------|--------|
| 80 o más | 2.5 |
| 79 a 75 | 5.0 |
| 74 a 70 | 7.5 |
| 69 a 65 | 10.5 |
| 64 a 60 | 12.5 |
| 59 a 55 | 15.0 |
| 54 a 50 | 17.5 |
| 49 a 45 | 20.0 |
| 44 a 40 | 22.5 |
| 39 o menos | 25.0 |

Tabla 3

| Velocidad del viento (km/h) | Índice |
|-----------------------------|--------|
| menos de 3.0 | 1.5 |
| 3.0 a 5.9 | 3.0 |
| 6.0 a 8.9 | 4.5 |
| 9.0 a 11.9 | 6.0 |
| 12.0 a 14.9 | 7.5 |
| 15.0 a 17.9 | 9.0 |
| 18.0 a 20.9 | 10.5 |
| 21.0 a 23.9 | 12.0 |
| 24.0 a 26.9 | 13.5 |
| 27.0 o más | 15.0 |

Tabla 4

| Días consecutivos de sequía | Índice |
|-----------------------------|--------|
| 1 | 3.5 |
| 2 a 4 | 7.0 |
| 5 a 7 | 10.5 |
| 8 a 10 | 14.0 |
| 11 a 13 | 17.5 |
| 14 a 16 | 21.0 |
| 17 a 19 | 24.5 |
| 20 a 22 | 28.0 |
| 23 a 25 | 31.5 |
| 26 en más | 35.0 |

El rango del índice, que varía de 0 a 100, esta dividido en cuatro clases, que indican el grado de peligro de propagación si ocurriera un fuego.

| | |
|----------|----------|
| 0 - 24 | Leve |
| 25 - 49 | Moderado |
| 50 - 74 | Alto |
| 75 - 100 | Extremo |

Este índice es utilizado actualmente por algunos organismos de manejo del fuego de las provincias patagónicas, como por ejemplo la Dirección de Bosques de la provincia del Chubut y la Central de Lucha contra Incendios Forestales (CLIF) de Parques Nacionales.

2. Sistemas compuestos por varios índices

2.1 Sistema de evaluación de peligro de incendios canadiense

La investigación sobre sistemas de evaluación de peligro de incendios forestales en Canadá fue iniciada por J. G. Wright en 1925. Desde entonces, la evaluación del peligro de incendios se fue perfeccionando a través de la creación de sucesivos índices. Este fue un proceso evolutivo, del que vale rescatar tres aspectos: 1) cada nuevo índice conservaba características del anterior; 2) hubo una tendencia a la simplificación en las observaciones meteorológicas requeridas; 3) los sistemas se basaron en la evaluación del peligro en función de experiencias de campo, analizadas empíricamente.

El Sistema Canadiense de Evaluación de Peligro de Incendios Forestales (CFFDRS)², utilizado actualmente en Canadá, comenzó a desarrollarse en 1968 continuando con la filosofía de construir sobre las experiencias anteriores.

Este sistema consiste de cuatro módulos o subsistemas: Índice Meteorológico de Peligro de Incendios (FWI)³; Subsistema de Predicción de Comportamiento del Fuego (FBP)⁴; Subsistema de Predicción de Ocurrencia de Fuego (FOP)⁵ y Subsistema Accesorio de Humedad de Combustibles (Figura 1).

Vamos a analizar en forma individual a cada uno de los Subsistemas que conforma el Sistema final:

a. Índice Meteorológico de Peligro de Incendios: es utilizado en todo Canadá desde 1970 y consiste en un conjunto de ecuaciones que pueden ser procesadas por computadora, a diferencia de los anteriores, que se conformaban por un conjunto de curvas que luego se traducían en tablas. El mismo fue desarrollado para un determinado complejo de combustible y posteriormente adaptado para otros.

2 En inglés: Canadian Forest Fire Danger Rating System (CFFDRS)

3 En inglés: Fire Weather Index (FWI)

4 En inglés: Fire Behavior Prediction (FBP)

5 En inglés: Fire Occurrence Prediction (FOP)

Su cálculo requiere de observaciones meteorológicas efectuadas a las 12 horas de humedad relativa, temperatura, velocidad del viento a los 10 metros y precipitación acumulada en las últimas 24 hs. Se conforma de componentes que, individual y colectivamente, consideran los efectos de la humedad del combustible y del viento en el comportamiento del fuego, y se muestran en el gráfico 2.

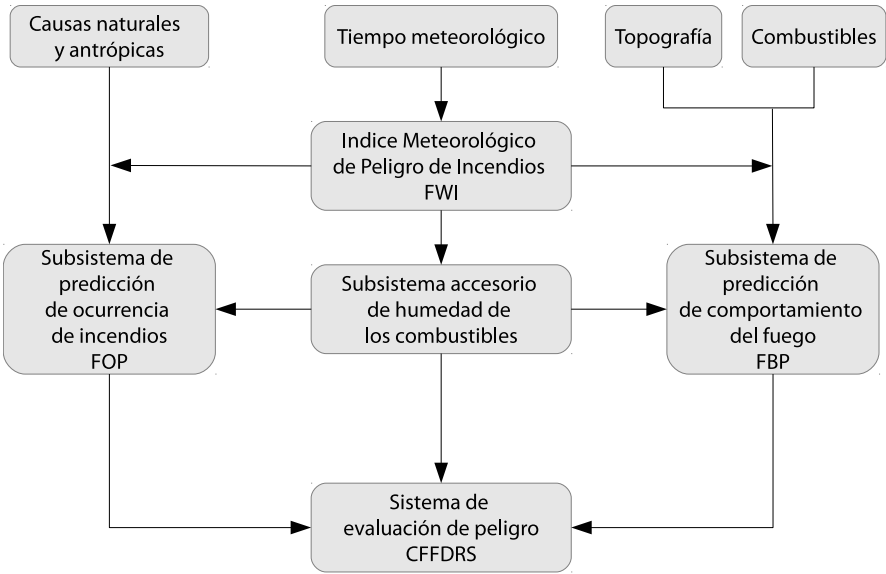


Figura 1. Estructura del Sistema Canadiense de Evaluación de Peligro de Incendios Forestales.

El código de humedad del combustible fino (FFMC)⁶ es indicador del contenido de humedad de la hojarasca y de otros combustibles finos muertos apoyados sobre el suelo; el código de humedad del mantillo (DMC)⁷, es indicador del contenido de humedad de la capa de materia orgánica poco profunda y poco compacta; el código de sequía (DC)⁸, es indicadora del contenido de humedad de la capa de materia orgánica profunda y compacta. Cada uno de estos códigos fluctúa en forma independiente, respondiendo a los cambios en el contenido de humedad de los combustibles con diferentes tiempos de respuesta a los cambios de las variables meteorológicas. El código de sequía puede subir o bajar lentamente, mientras el código de humedad de los combustibles finos y el código de humedad del mantillo fluctúan más rápidamente.

6 En inglés: Fine Fuel Mixture Code (FFMC)

7 En inglés: Duff Moisture Code (DMC)

8 En inglés: Drought Code (DC)

El índice de propagación inicial (ISI)⁹ y el índice de combustible disponible (BUI)¹⁰, indican respectivamente la velocidad de propagación y la carga de combustible disponible relativas para la propagación del fuego.

El Índice Meteorológico de Peligro, resume en un sólo número los efectos combinados del resto de las componentes y es un indicador relativo de la actividad potencial del fuego.

El Sistema del Índice Meteorológico de Peligro es un buen indicador de los diversos aspectos de la actividad del fuego y el más utilizado como medida general del peligro de incendios con propósitos administrativos. Cada componente provee información directa sobre distintos aspectos del potencial de incendios. Por ejemplo en ambientes de Canadá, se sabe que los incendios no tienen posibilidad de propagarse a través de la hojarasca con un código de humedad de los combustibles finos menor a 74, que la capa de mantillo no contribuye a la intensidad del frente de fuego hasta que el código de humedad del mantillo crece a 20, y que la actividad del fuego de superficie o subterráneo tiende a persistir a valores de código de sequía mayores a 400.

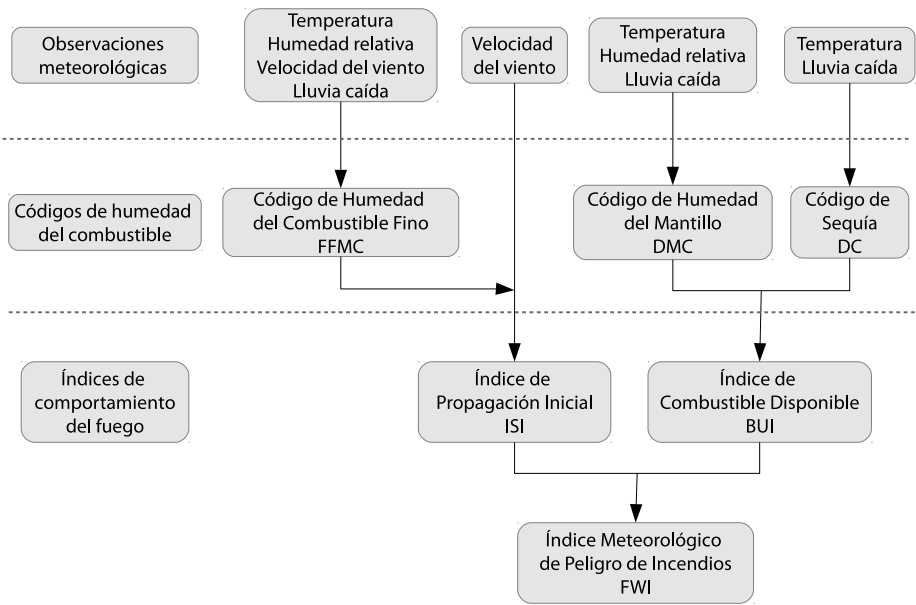


Figura 2. Índice Meteorológico de Peligro de Incendios, subsistema del Sistema Canadiense de Evaluación de Peligro de Incendios Forestales.

9 En Inglés: Initial Spread Index (ISI)

10 En Inglés: Build Up Index (BUI)

Pueden definirse tres niveles de información derivados de este conjunto de componentes:

- » Primer nivel: El Índice Meteorológico de Peligro, combina en un sólo número todos los aspectos considerados en forma individual por los códigos e índices que lo componen, siendo de utilidad para información pública general.
- » Segundo nivel: Los índices de propagación y de combustible disponible, son recomendados para decisiones generales operativas de manejo. El índice de propagación, muestra una buena correlación con la superficie afectada y el índice de combustible disponible es un buen indicador de la actividad del fuego, por lo que pueden ser utilizados para tomar decisiones respecto de la asignación de recursos.
- » Tercer nivel: Los códigos de humedad de combustible, tienen numerosos usos específicos. La ocurrencia de focos está estrechamente relacionada al código de humedad del combustible fino. Asimismo, los tres códigos están estrechamente relacionados al consumo de combustible, por lo que pueden ser analizados para evaluar los posibles efectos del fuego.

Si bien las clases de peligro indicadas por el índice meteorológico son las mismas para todo Canadá, las condiciones meteorológicas que conducen a un determinado grado de peligro varían para cada región. Por este motivo, se han ajustado regionalmente los rangos de las variables que determinan cada una de las clases.

b. Subsistema de Predicción de Comportamiento del Fuego: provee estimaciones cuantitativas de parámetros del comportamiento, como la velocidad de propagación de la cabeza del incendio, el consumo de combustibles, la tasa de crecimiento del perímetro y la intensidad del fuego, para un momento y lugar determinados.

La estructura de este subsistema, se muestra en la figura 3.

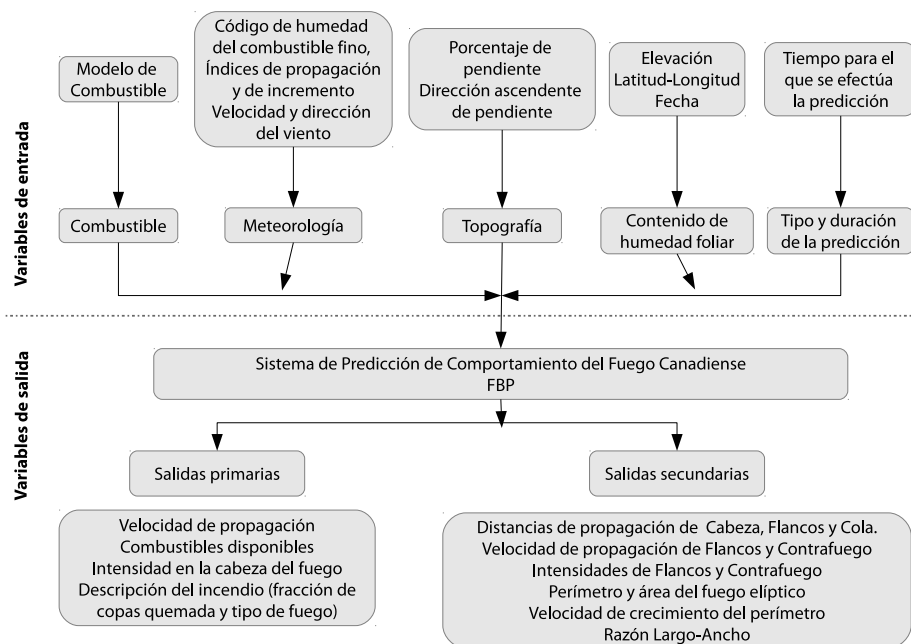


Figura 3. Subsistema de Predicción de Comportamiento del Fuego del Sistema Canadiense de Evaluación de Peligro de Incendios Forestales.

El sistema se alimenta de información de combustibles, meteorológica y topográfica. La información sobre las características de los combustibles, se ingresa a través de modelos que describen a las distintas asociaciones vegetales en forma cualitativa; esta descripción incluye características tales como composición, escaleras de combustibles y cobertura del suelo. La información meteorológica se ingresa a través de algunas de las componentes del índice meteorológico. La información topográfica se toma de la cartografía existente.

c. Subsistema Canadiense de Predicción de Ocurrencia de Incendios Forestales: se encuentra actualmente en reformulación.

d. Subsistema Accesorio de Humedad de Combustibles: se encuentra actualmente en desarrollo.

2.2 Sistema de evaluación de peligro de incendios de los Estados Unidos

El Sistema Nacional de Evaluación de Peligro de Incendios de Estados Unidos¹¹, comenzó a desarrollarse desde 1958, en respuesta a las recomendaciones surgidas de una conferencia del Servicio Forestal realizada en 1940. Desde entonces y hasta 1978, se desarrollaron y probaron las distintas fases que lo componen. Este sistema se basa en los siguientes principios:

- » Considera solamente el fuego inicial, en un estado en el que se supone que el comportamiento no es errático y que no hay coronamiento.
- » Es un indicador de aquella parte del trabajo potencial de contención que puede atribuirse al comportamiento del fuego, sin considerar aspectos como la dificultad de acceso o disponibilidad de recursos, entre otros.
- » Asume que el largo de las llamas de la cabeza del incendio está directamente relacionado con las dificultades de contención causadas por el comportamiento del fuego.
- » Evalúa las condiciones más críticas para una región determinada, utilizando observaciones meteorológicas correspondientes a aquellas horas en las que se considere que el peligro de incendio es más alto, en espacios abiertos y, preferentemente, en las exposiciones más secas (sur y oeste en el hemisferio norte).
- » Provee índices que tienen interpretación física en lo que respecta a ocurrencia y comportamiento. Estos valores pueden ser utilizados tanto en forma conjunta como independiente, para dar lugar a un análisis flexible del espectro completo de la complejidad de planificación del control.
- » En general, relaciona linealmente a los distintos índices que lo componen, con el aspecto del comportamiento del fuego que cada uno de ellos evalúa.
- » Utiliza observaciones meteorológicas diarias para evaluar el peligro diario, y valores pronosticados para generar índices que sean indicadores del peligro de incendios, para grandes áreas.

El registro de información meteorológica comienza a efectuarse cuatro semanas antes del comienzo de la estación de fuego. Las lecturas de las condiciones meteorológicas son tomadas una vez por día, a las 15 hs en todas las estaciones. Debido a que las apreciaciones se efectúan con observaciones o

11 En inglés: National Fire Danger Rating System (NFDRS)

pronósticos para grandes áreas, y a que los combustibles también son descritos en forma general para una superficie extensa, el peligro de incendio indicado por el sistema debe ser interpretado como una estimación general para una determinada región. La Figura 4 muestra un diagrama simplificado de este Sistema.

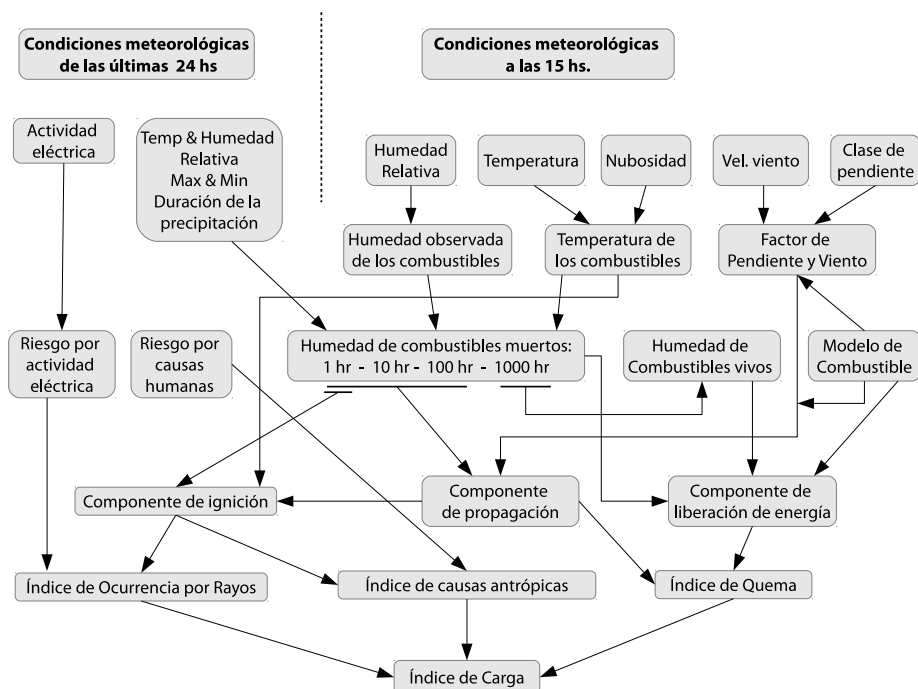


Figura 4. Sistema Nacional de Evaluación de Peligro de Incendios de Estados Unidos.

Variables de entrada

- » Número de estación
- » Altura de la estación
- » Modelo de combustible
- » Estado de la vegetación herbácea
- » Clase de pendiente
- » Fecha
- » Estado del tiempo
- » Estado de la vegetación leñosa
- » Temperaturas de bulbo seco y húmedo
- » Riesgo de rayos

- » Riesgo por causas humanas
- » Velocidad del viento (promedio 10') a los 6 metros
- » Dirección del viento
- » Tipo de precipitación
- » Cantidad de precipitación
- » Duración de la precipitación
- » Hora de comienzo y fin de la precipitación
- » Nivel de actividad eléctrica
- » Temperatura máxima y mínima de las 24 hs
- » Humedad relativa máxima y mínima de las 24hs.
- » Humedad de los combustibles de 1-hr y de 10-hr

Variables de salida

- » **Índices de riesgo por rayos y por causas humanas.** Estos índices son indicadores de la posible ocurrencia de incendios en una unidad de protección y durante el período considerado. Cuando alguno de los índices es alto, el sistema de detección debe ser utilizado en su máximo alcance. Analizados en forma conjunta, indican si las operaciones de detección tienen que concentrarse en los cinturones de riesgo por rayos o por causas humanas.
- » **Índice de quema.** Este índice depende de las componentes de propagación y de liberación de energía. Es un indicador de la cantidad y tipo de equipamiento y de recursos humanos que requerirá cada incendio. Se alimenta de dos componentes:
 - **Componente de propagación.** Se calcula la velocidad de propagación pronosticada, utilizando el algoritmo del modelo de propagación de Rothermel. Se utiliza como indicador del tiempo en el cual el fuego tiene que ser contenido, para que no supere una determinada superficie.
 - **Componente de liberación de energía.** Se calcula la intensidad de reacción en base al modelo de Rothermel. Esta componente se utiliza como guía para decidir la forma de ataque.
- » **Índice de carga de fuego.** Este índice que integra a todo el resto, indica el nivel al que tienen que mantenerse las fuerzas de supresión en un área de protección, para poder manejar las situaciones potenciales de fuego.

2.3 Sistema Métrico de Peligro de Incendios de Mc Arthur ¹²

El primer sistema de evaluación de peligro de incendios utilizado en Australia, fue desarrollado por Mc Arthur a principios de 1960. Dicho sistema fue sucesivamente modificado y adaptado según las fallas que se fueron detectando. El sistema original, denominado *Mark3*, fue desarrollado para pasturas de Nueva Gales del Sur y bosques de eucaliptos. Posteriormente se desarrolló el sistema *Mark 5*, de aplicación más amplia.

Estos sistemas proveen herramientas de manejo consistentes y útiles para diversas agencias estatales y privadas. Los sistemas han sido adoptados por numerosos países, con “climas de fuego” similares al de Australia.

En los años ‘80, se detectaron ciertas deficiencias en los sistemas Mc Arthur para la predicción del comportamiento. Asimismo, se introdujeron cambios ad hoc, y se observó una creciente tendencia a incorporar modelos de comportamiento de fuego desarrollados en distintos países, sin haber sido previamente probados en Australia.

Frente a esta situación, el Consejo Forestal Australiano decidió revisar los sistemas de evaluación de peligro y, en 1988, convocó a una Conferencia en Canberra para tratar esta problemática. De la misma surgió que un sistema de evaluación de peligro de incendios, debe desarrollarse con la finalidad de estandarizar la evaluación de peligro de incendios para el país, estableciéndose un acuerdo entre los agentes del fuego públicos y privados para desarrollar y fomentar un sistema simple y uniforme para la información pública y para el establecimiento de un servicio general de prevención estándar. Se acordó además, el uso de modelos de comportamiento del fuego científicamente validados, combinados con Sistemas de Información Geográfica (SIG) para una más acertada predicción del comportamiento del fuego, en distintos tipos de vegetación y terrenos.

Los sistemas actualmente utilizados, se componen de índices que se relacionan directamente con la probabilidad de ignición, la velocidad de propagación y las dificultades de supresión. Los mismos fueron desarrollados para tipos de pastizales y bosques específicos, y proveen una base para la explicación del comportamiento del fuego en dichas unidades de vegetación.

El contenido de humedad de los combustibles se calcula para dos grupos: combustibles finos y combustibles pesados. El contenido de humedad de los combustibles finos se evalúa a partir de datos de temperatura del aire y de hu-

¹² En Inglés: Mc Arthur Fire Danger Meter Systems

medad relativa. Para los combustibles pesados se utiliza el Índice de Sequía de Keetch - Byram.

Las ecuaciones derivadas para fuegos de pastizales del sistema Mark 3 son las siguientes:

$$F = 2.0^{(-23.6 + 5.01 \ln(C) + 0.0281 \cdot T - 0.226 \sqrt{H} + 0.633 \sqrt{V})}$$

$$R = 0.13 \cdot F$$

El sistema Mark 5 reemplazó al anterior y plantea nuevas ecuaciones para pastizales:

$$M = (97.7 + 4.06 \cdot H) / (T + 6.0) - 0.00854 \cdot H + 3000.0 / C - 30.0$$

$$F = 3.35 \cdot W^{(-0.0897 \cdot M + 0.0403 \cdot V)} \quad \text{para } M < 18.8\%$$

$$F = 0.299 \cdot W^{(-1.686 + 0.0403 \cdot V) \cdot (30 - M)} \quad \text{para } 18.8\% \leq M < 30.0\%$$

$$R = 0.13 \cdot F$$

Las ecuaciones para el índice de peligro de incendios para bosques del Mark 5 son las siguientes:

$$F = 2.0^{(-0.450 + 0.987 \ln(D) - 0.0345 \cdot H + 0.0338 \cdot T + 0.0234 \cdot V)}$$

Esta ecuación puede ser simplificada con una muy pequeña pérdida de precisión, quedando:

$$F = 1.25 \cdot D^{[(T - H)/30.0] + 0.034 \cdot V}$$

Las ecuaciones para otra información relevante del sistema son:

$$R = 0.0012 \cdot F \cdot W$$

$$R_{\theta} = R^{(0.069 \cdot \theta)}$$

$$Z = 13.0 \cdot R + 0.24 \cdot W - 2.0$$

$$S = R \cdot (4.17 - 0.033 \cdot W) - 0.36$$

El factor de sequía es una variable discontinua derivada de categorías del índice de sequía de Keetch-Byram.

$$D= 0.191*(I + 104)*(N + 1)^{1.5}/(3.52*(N + 1)^{1.5} + P-1)$$

Variables utilizadas por los sistemas de ecuaciones:

C: grado de secado
D: factor de sequía
F: índice de peligro de incendios
H: humedad relativa
I : índice de sequía de Keetch-Byram
M: contenido de humedad del combustible
N: tiempo desde la última lluvia
P: cantidad de precipitación
R: velocidad de propagación en terreno plano
R_q: velocidad de propagación en terreno de pendiente q
S: distancia de focos secundarios desde el frente de llamas
T: temperatura del aire
V: velocidad media del viento a 10 m, en terreno abierto
W: peso del combustible
Z: altura de llama
q: pendiente del terreno

2.4 Sistema utilizado en España

En base al comportamiento dinámico del fuego durante los incendios, España realiza una ordenación en “comarcas forestales”. Para ello, define el peligro histórico de ocurrencia de incendios, el cual se realiza luego de definir la superficie a proteger en función del análisis de bases de datos estadísticos, que describen la ocurrencia de incendios.

El peligro histórico se define en función de un índice espacio-temporal y de un índice de causalidad. También puede definirse en función de un índice de frecuencia de incendios. Para calcular los índices en cada área en particular, se divide la misma en una malla de trabajo de celdas cuadradas, cuyo lado dependerá de la extensión de la comarca en estudio y del origen de los incendios (p. ej.: 10x10 km).

Para cada cuadrícula se elabora el índice de peligro temporal.

$$R_t = \left(\frac{1}{a}\right)^3 \cdot \left[\sum_1^a \frac{h_i}{n}\right] \cdot \left[\sum_1^a \frac{d_i}{n}\right] \cdot \left[\sum_1^a \frac{m_i}{n}\right]$$

donde:

a : número de años objeto del análisis histórico

h_i : número de incendios registrados a la hora h_i durante cada año

d_i : número de incendios registrados el día d_i de la semana durante cada año

m_i : número de incendios registrados el mes m_i durante cada año

n : número total de incendios registrados en cada año del período histórico en análisis.

Luego se calcula el índice de riesgo espacial

$$R_e = \left(\frac{1}{a}\right) \cdot \sum_1^a n_i$$

donde:

n : número de incendios registrados en cada cuadrícula para cada año del período histórico de análisis.

Con los dos índices se obtiene la referencia analítica espacio-temporal de la ocurrencia de incendios en el área en estudio.

$$R_{te} = R_t \times R_e$$

La causalidad relacionada al origen de los incendios se obtiene a través de la frecuencia histórica de causalidad, para cada cuadrícula:

$$C = \left(\frac{1}{a}\right) \sum_1^a \left(\sum_1^5 c \cdot nc\right) / n_i$$

donde:

c : coeficiente de peligrosidad de cada causa, toma valores 1 y 10

nc : número de incendios de cada causa en cada año de la serie del período histórico.

La ocurrencia histórica estará definida por el índice espacio-temporal y el índice de causalidad.

Se calcula además un índice de peligro de ocurrencia de incendios, basado en la predisposición a facilitar la ignición y propagación del fuego de los distintos modelos de combustible, en función de sus estructuras, conformaciones, cargas y continuidades. Este índice se obtiene a partir de la probabilidad de ignición para cada modelo existente en cada cuadrícula, el comportamiento dinámico inicial previsible con viento nulo y pendiente máxima para el modelo y el comportamiento energético que puede desarrollar cada modelo.

Para calcular este índice se emplean las siguientes ecuaciones:

$$I_{ig} = \left[\sum_1^n P \text{Im} i \times C \text{Im} i \times \frac{Si}{Stc} \right] \quad Icd = \left[\sum_1^n CDmi \times \frac{Si}{St} \right]$$

$$Ice = \sum_1^n [I(Vp) + I(Al) + I(I) + I(Cs)] \times \frac{Si}{4Stc}$$

$$Rp = Iig + Icd + Ice$$

donde:

Iig: índice de ignición.

Icd: índice de comportamiento dinámico de la propagación luego de la ignición, considerando la velocidad más frecuente del viento.

Rp: índice de peligro potencial de ocurrencia de incendios en áreas forestales.

Plmi: probabilidad de ignición del modelo de combustible *mi*, a la hora del día de mayor intensidad de la radiación solar (1200).

Si: superficie que ocupa el modelo *mi* en la cuadrícula en análisis.

Sct: superficie total de la cuadrícula en análisis.

Clmi: coeficiente de ignición característico de cada modelo.

CDmi: peso asignado según tabla para la velocidad de propagación, con velocidad del viento mas frecuente y pendiente máxima de cada modelo.

Ice: índice de comportamiento energético, obtenido por la suma de los pesos asignados a cada uno de los intervalos en que se han dividido los valores que pueden registrar los parámetros de salida.

Vp: velocidad de propagación del frente de llamas.

Al: longitud de llama.

I: intensidad lineal del frente de avance.

Cs: calor por unidad de área.

Si bien en la mayoría de las comunidades autónomas el cálculo del índice de peligro se limita a la época de mayor peligro, en algunas comunidades se calcula el índice durante todo el año y se utiliza para regular los permisos de quema. Además de las aplicaciones locales, debe considerarse la utilidad general de la predicción del peligro para la coordinación de actividades y para alertar al público.

3. Índices complementarios

3.1 Índices de sequía

La sequía es un término difícil de definir cuantitativamente, ya que su significado depende del contexto en el que es utilizado. Así, los combatientes del fuego tienen un concepto distinto de sequía del que pueden tener los pescadores o agricultores. Palmer (1965), define una sequía “meteorológica” como *un intervalo de tiempo, generalmente del orden de meses o años de du-*

ración, durante el cual falta el suministro de humedad en una región o es más escaso que el climático esperado. Desde el punto de vista de la vegetación, la sequía comienza cuando la disponibilidad de agua en el suelo es insuficiente para satisfacer las necesidades de los elementos bióticos locales.

La sequía impacta drásticamente sobre el combustible, tanto vivo como muerto. Un largo período con déficit de humedad durante la estación de crecimiento, acelera el secado de los combustibles vivos y, en consecuencia, aumenta la cantidad de combustible muerto. El contenido de humedad de los combustibles pesados, se vuelve anormalmente bajo cuando los períodos de sequía se prolongan. A este efecto se suma el secado de las capas orgánicas profundas o suelos orgánicos (pantanos, mallines).

Por lo expresado anteriormente, cuando se producen incendios en regiones afectadas por sequía, la biomasa disponible para quemarse es superior a la disponible en temporadas normales y la energía liberada por el fuego también es superior. Estas condiciones favorecen la ocurrencia de incendios de comportamiento extremo.

3.1.1 Índice de Severidad de Sequía de Palmer

El Índice de Severidad de Sequía de Palmer, fue desarrollado en 1956, a raíz de una seria sequía que afectó algunas áreas de Estados Unidos. Frente a esa situación, el Servicio de Agricultura de ese país, necesitaba algún criterio en función del cual pudiera realizarse la asignación de fondos para subsidios.

Cómputo del índice

El índice de Palmer, consiste básicamente en una ecuación de balance hídrico, que muestra la demanda y la provisión de agua. La provisión de agua en el área de interés, está dada por la precipitación y el almacenamiento de humedad en el suelo; la demanda está dada por la evapotranspiración potencial, la cantidad necesaria para recargar la humedad del suelo y el escurrimiento.

El contenido de humedad del suelo, el escurrimiento, la recarga y pérdida de agua son evaluados para dos modelos de capas de suelo, una superficial y una profunda. Se asume que la capa superficial puede contener 25 mm de agua, mientras la capacidad de la capa profunda depende del clima zonal. La segunda capa cobra importancia sólo cuando la capa superficial se encuentra sin remanente o saturada.

Para el cálculo del índice se hacen las siguientes suposiciones:

- a. Cuando ambas capas alcanzan su máxima capacidad de humedad, se produce escurrimiento.
- b. La evapotranspiración ocurre cuando la evapotranspiración potencial es mayor que la precipitación.
- c. La evapotranspiración potencial se deriva de las temperaturas observadas, utilizando el método de Thornthwaite.

La utilización de este índice, requiere de un análisis climático para definir las características de humedad individuales de cada zona climática para cada mes o semana del año.

Los datos necesarios para su cálculo son la temperatura media mensual o semanal, de acuerdo al período analizado y la precipitación total de cada división climática. Su fórmula es la siguiente:

$$PDSI_{\text{actual}} = 0.897(PDSI_{\text{del mes anterior}}) + Z/3$$

$$Z = K(P - CAFEC\ P)$$

donde:

K: factor climático de ajuste; permite que el índice sea comparable entre climas húmedos y secos y para distintos meses del año.

P: observación mensual o semanal de precipitación media para la zona climática.

CAFEC P: ecuación de balance hídrico que contiene cuatro coeficientes, calculados para cada semana o mes:

1. coeficiente de evapotranspiración: es la razón entre la evapotranspiración media registrada semanal o mensualmente y la evapotranspiración potencial media semanal o mensual.
2. coeficiente de recarga: es la razón entre la ganancia de humedad media y la ganancia media máxima posible.
3. coeficiente de pérdida: es la razón entre la pérdida de humedad media y la potencial, donde la pérdida potencial es la cantidad de evapotranspiración que podría ocurrir si no hubiera precipitación.
4. coeficiente de escurrimiento: es la razón entre el agotamiento medio registrado y el agotamiento potencial medio.

El índice Z es más sensible a la deficiencia real del mes, mientras que el Índice completo de Palmer tiene una respuesta más lenta y, por lo tanto, representa mejor los períodos más prolongados de sequía.

Si bien el índice de Palmer tiene limitaciones propias del modelo simplificado de balance hídrico que utiliza, de la capacidad de humedad que considera para el suelo, del efecto que pueden tener las precipitaciones de un mes sobre el índice en períodos extensos de sequía y de algunas deficiencias ob-

servadas para la determinación del comienzo y finalización de los períodos húmedos o secos, su utilización ha dado resultados positivos a largo plazo.

La principal ventaja de su uso es la garantía de que provee un buen panorama temporal y espacial del grado relativo de eventos meteorológicos anómalos.

3.1.2 Índice de sequía de Keetch - Byram

En la revisión efectuada en 1988 al sistema de Evaluación de Peligro de Incendios de Estados Unidos, puso de manifiesto la deficiencia del mismo para detectar períodos de sequía en ambientes húmedos. Como solución a este problema, se incorporó el índice de Keetch-Byram para ajustar el cálculo de la cantidad de combustible muerto disponible para la combustión, considerando la carga adicional producida por la sequía.

Hasta ese momento, el sistema consideraba de manera limitada los efectos de la sequía y explicaba el ciclo seco anual normal en función de la humedad del combustible de 1000 horas de tiempo de retardo. Este concepto se adaptaba adecuadamente a las condiciones climáticas del oeste árido de Estados Unidos; en ambientes húmedos, la humedad raramente desciende por debajo del 15 %.

Este es un índice representativo del efecto neto de la evapotranspiración y precipitación sobre el déficit acumulativo de humedad de la capa de hojarasca superior del suelo y de la capa orgánica profunda. Es un sistema de seguimiento de la humedad del suelo, diseñado para evaluar el potencial de incendios.

El modelo de cálculo del Índice de Keetch-Byram se basa en las siguientes suposiciones:

- » La tasa de pérdida de humedad del suelo, depende de la densidad y de la capacidad de transpiración de la cobertura vegetal. La densidad natural de la vegetación es función de la precipitación media anual.
- » La tasa de pérdida de humedad del suelo, está determinada por la evapotranspiración y la tasa de ganancia por la precipitación.
- » La tasa de decrecimiento en la humedad del suelo es directamente proporcional a la cantidad de agua disponible en el suelo.

- » La profundidad de la capa de suelo, afectada por una sequía de magnitud tal que afecta la inflamabilidad de la vegetación y de las capas orgánicas, tiene una capacidad de campo de 203 mm de agua.

El modelo requiere datos de precipitación media anual observada en el sitio, la lluvia caída durante las últimas 24 horas, y la temperatura máxima diaria. Su cálculo puede ser efectuado por un software simple o manualmente.

La deficiencia de humedad se expresa en pulgadas y se basa en 8 pulgadas (203 mm) de agua disponibles para la evapotranspiración; el índice se representa en una escala graduada de 0 a 800. Cero es el punto de no deficiencia de humedad y 800 es la sequía máxima posible. En cualquier punto a lo largo de la escala, el valor numérico indica la cantidad neta de lluvia requerida para reducir el índice a cero o llevarlo a la saturación.

Para facilitar la descripción de la sequía, el índice está dividido en rangos: a) 0 a 99, estado incipiente de sequía; b) 100 a 199, primer estado de sequía; c) 200 a 299, segundo estado de sequía; y así sucesivamente hasta el séptimo estado, correspondiente al rango 700-800 de sequía máxima.

El índice podría calcularse diariamente, pero resulta suficiente realizar el cálculo una vez por semana, excepto durante períodos de peligro de incendios moderado o alto, durante los cuales se calcula inmediatamente, y se comunica a los agentes de prevención y control del fuego.

El Índice de Keetch-Byram, fue adoptado en algunas áreas de Australia y de Indonesia, como así también testeado en Grecia con ajustes adecuados, para un bosque mediterráneo de *Pinus halepensis*.

3.2 Índices de estabilidad atmosférica

El comportamiento de los incendios no está afectado solamente por las condiciones meteorológicas de superficie, sino también por el estado de la atmósfera en altura. El grado de estabilidad que presenta la atmósfera, es uno de los factores condicionantes del desarrollo vertical de la columna convectiva de un incendio. Por este motivo, los sistemas de evaluación de peligro de incendios se complementan con índices de estabilidad atmosférica.

3.2.1 Índice de Severidad de la Baja Atmósfera

Entre los índices de estabilidad atmosférica, se encuentra el Índice de Severidad de la Baja Atmósfera. Este Índice fue desarrollado por Haines en 1988 para uso específico en evaluación de peligro de incendios convectivos, y es también conocido como Índice de Haines. Para una más completa apreciación de la posibilidad de que un incendio alcance un importante desarrollo convectivo, este índice debe ser evaluado en forma conjunta con algún índice de liberación de energía.

Este índice se calcula en función de la variación de la temperatura en una cierta capa de la atmósfera y la depresión del bulbo húmedo en el límite inferior de la capa considerada. Las capas atmosféricas consideradas varían con la altura del área para la cual se calcula el índice.

$$LASI^{13} = A + B = (Tp1 - Tp2) + (Tp1 - Tdp1)$$

donde:

Tp1: temperatura en el límite inferior de la capa analizada.

Tp2: temperatura en el límite superior de la capa analizada.

Tdp1: temperatura de rocío en el límite inferior de la capa analizada.

Los valores del índice fluctúan entre 2 y 6; cuando el potencial de desarrollo de grandes incendios convectivos es muy baja, el índice toma el valor de 2 o 3; si es baja toma el valor 4; si es moderada el valor de 5 y si es alta el valor 6.

3.3 Índices de Vegetación

La utilización de información satelital, ha permitido desarrollar nuevas herramientas para la evaluación del peligro de incendios. Entre ellas se encuentran los índices de vegetación, que permiten la caracterización de las distintas estructuras de vegetación y el seguimiento temporal de su contenido de humedad; y como también la cartografía de peligro de incendio que se ve optimizada al poder utilizar información satelital para analizar algunas de las variables que contribuyen al grado de peligro.

3.3.1 Índices de Vegetación

Los Índices de Vegetación, se elaboraron con el objetivo de contar con observaciones de las condiciones de la cubierta vegetal, a través de los cambios observados mediante el análisis de imágenes satelitales. A tal efecto se utiliza la información provista por diversos radiómetros de alta resolución como el

13 LASI: Lower Atmosphere Severity Index

“AVHRR”, a bordo de los satélites NOAA¹⁴, siendo uno de los mas utilizados debido a que reúne características tales como la disponibilidad de largas series de datos, la cobertura global de la Tierra y su fácil adquisición, que permite estimar el estado de la vegetación sobre grandes espacios.

Los satélites NOAA proveen información diaria de la superficie de la tierra. La resolución espacial del AVHRR es de 1,1 km; por lo tanto, cada píxel de la imagen representa un área de 1,1 km². El sensor obtiene información espectral en 5 canales. A cada píxel, le corresponde un número que representa la luz reflejada por la tierra en cada canal espectral.

Los canales 1 (rojo, 0,58 a 0,68μm) y 2 (infrarrojo cercano, 0,725 a 1,10μm), son los utilizados para monitorear vegetación. Esto se debe a que la firma espectral característica de la vegetación sana muestra un claro contraste entre las bandas visibles, especialmente las del rojo (0,6-0,7 μm), e infrarrojo cercano (IRC 0,7μm -1,1μm).

En la región visible los pigmentos de la hoja absorben la mayor parte de la energía que reciben, estas sustancias casi no afectan al infrarrojo cercano. Se produce entonces un notable contraste espectral entre la baja reflectividad de la banda roja y la del infrarrojo cercano, que permite separar con relativa claridad la vegetación sana de otras cubiertas. Si la vegetación sufre estrés (plagas o sequías), su reflectividad es menor en el infrarrojo cercano y mayor en el rojo; por lo tanto, el contraste entre bandas será mucho menor. Cuanto mayor sea el contraste entre las reflectividades de la banda roja e infrarroja, mayor vigor vegetal presentará la cubierta observada, hasta llegar a áreas sin vegetación que ofrecen un contraste mucho menor.

Entre los índices más utilizados se encuentran el Cociente Simple (CS) y el Índice de Vegetación de Diferencias Normalizadas (NDVI), y sus expresiones son las siguientes:

$$\text{Coc}_i = P_i \text{ IRC} / P_i \text{ R}$$

$$\text{NDVI} = P_i \text{ IRC} - P_i \text{ R} / P_i \text{ IRC} + P_i \text{ R}$$

donde:

P_i IRC: reflectividad del píxel **i**, en las bandas del infrarrojo cercano

P_i R: reflectividad del píxel **i** en las bandas del rojo visible

¹⁴ También puede utilizarse información de las bandas 5 y 7 del sensor MSS, de las bandas 4 y 3 del sensor TM y de las bandas 3 y 2 del sensor HRV.

Para realizar cálculos con mayor exactitud deben aplicarse correcciones atmosféricas y la conversión de los números digitales a reflectividades.

En España, el NDVI se ha implementado de manera eficaz para la previsión de sequías y riesgo de incendios forestales, a partir del análisis de series multitemporales. El NDVI promedio, calculado a través de imágenes adquiridas a lo largo de varios años, ha permitido obtener una clasificación de la cobertura del suelo, apoyando la discriminación con información auxiliar de topografía y de regiones biogeográficas y edafológicas.

Algunos autores señalan que el NDVI no resulta una medida muy consistente de las condiciones de la vegetación en zonas semiáridas; por lo cual incorporaron parámetros a la ecuación para corregir la reflectividad del suelo.

Bibliografía Citada y Consultada

.....

- Burgan, Robert E. 1993. A Method to Initialize the Keetch - Byram Drought Index. Forest Service, USDA. WJAF. 109 - 115.
- Chandler, C; P. Cheney; P. Thomas; L. Traub and D. Williams. 1991. Fire in Forestry. Volume I. Forest Fire Behavior and Effects. Krieger Publishing Company. Florida.
- Chuvieco, Emilio. 1996. Principios físicos de la teledetección. Fundamentos de Teledetección Espacial. 3ª Edición Revisada. España. 63-65, 339-348, 445-447.
- Deming, J.E. y J.W. Lancaster. 1981. Background, Philosophy, Implementation- National Fire Danger Rating System. 20 pp.
- Deming, John E. 1995. Development of a Fire Danger Rating System for East Kalimantan Indonesia. GTZ Alemania. Wildland Fire Management, USA. 31pp.
- Dimitrakopoulos, A.P. y A.M. Bemmerzuk. 1998. Evaluation of the Canadian Forest Fire Danger Rating System (CFFDRS) and the Keetch-Byram Index (KBDI) in the Mediterranean Climate of Greece. III International Conference on Forest Fire Research. 14 th Conference on Fire and Forest Meteorology. Vol Y. 995-1009.
- Fogarty, L.G., H.G. Pearce, W.R., Catchpole y M.E. Alexander. 1998. Adoption vs. Adaptation: Lessons from applying the Canadian Forest Fire Danger Rating System in New Zealand. III International Conference on Forest Fire Research. 14 th Conference on Fire and Forest Meteorology. Vol I. 1011-1028.
- Forestry Canada. Fire Danger Group. 1992. Development and structure of the Canadian Forest Fire Behavior Prediction System. Information Report ST-X-3. 63pp.
- Ray, Terril. 1998. A FAQ on Vegetation in Remote Sensing. Division of Geological and Planetary Sciences. California Institute of Technology. 16p.

- Rodríguez, N. y A. Moretti. 1988. Índice de peligro de propagación de Incendios Forestales. VI Congreso Forestal Argentino. Tomo III. Santiago del Estero. 5pp.
- Sampaio, O.B., R.V. Soares and D.X. Viegas. 1998. Calibration and test of four fire danger methods in Agudos Region, State of Sao Paulo, Brazil. III International Conference on Forest Fire Research. 14 th Conference on Fire and Forest Meteorology. Vol I. 1249-1262.
- Van Wagner, C.E. 1987. Development and structure of the Canadian Forest Fire Weather Index System. Canadian Forestry Service. TR 35. Ottawa. 37pp.
- Vélez, R. 1988. Aplicación de la predicción del peligro para prevención de los incendios forestales. Predecir para prevenir. Documentos Seminario métodos y equipos para la prevención de incendios forestales. ICONA. España. 79-88 pp.
- WMM. 1991. Fire danger rating systems. Special Environmental Report N° 11.

Anexo I

.....

Índice de carga de fuego: Indicador cuantitativo y/o cualitativo utilizado para evaluar el esfuerzo total requerido para contener todos los incendios probables, dentro de un área determinada y durante un período específico.

Índice de ignición: Indicador cuantitativo y/o cualitativo relacionado con la facilidad con la cual los combustibles finos (pastos, vegetación herbácea, acículas...), podrían encenderse cuando son expuestos a una fuente de ignición (cigarrillos, fósforos, rayos).

Índice de liberación de energía: Indicador cuantitativo y/o cualitativo de la razón de combustión y de la liberación de calor.

Índice de ocurrencia: Indicador cuantitativo y/o cualitativo de la incidencia potencial de focos dentro de un área determinada. Se deriva del riesgo y de la facilidad de ignición.

Índice de peligro: Indicador cuantitativo y/o cualitativo del peligro de incendios.

Índice de propagación: Indicador cuantitativo y/o cualitativo de la velocidad de propagación pronosticada para el fuego en un determinado tipo de combustibles, una determinada pendiente y bajo condiciones meteorológicas específicas.

Índice de quema: Indicador cuantitativo y/o cualitativo del esfuerzo potencial necesario para contener un incendio en un tipo de combustible en particular, dentro de un área determinada y durante un período específico.

Índice de riesgo: Indicador cuantitativo y/o cualitativo de la probabilidad de que un área esté expuesta a una fuente de ignición, ya sea natural o antrópica.

Índice de severidad estacional: Sumatoria estacional de los índices de carga de fuego.



Secretaría
de Ambiente
y Desarrollo
Sustentable



Jefatura de
GABINETE de Ministros

Evaluación de peligro de incendios. Informes técnicos
Informe Técnico N° 1 . Sistemas de Evaluación de Peligro de Incendios
Autores: María del Carmen Dentoni y Miriam Marcela Muñoz.
Editor: Plan Nacional de Manejo del Fuego. Programa Nacional de Evaluación
de Peligro de Incendios y Alerta Temprana.
Ruta 259 Km 4 - Esquel, Chubut, Argentina.
Publicación seriada de periodicidad irregular. ISSN 2313-9420 - Mayo de 2012