

CAPÍTULO 14

REFERENCIAS PARA EL DESARROLLO DE UN SISTEMA NACIONAL DE PRONÓSTICO DE INCENDIOS FORESTALES

Autor

Guillermo Julio Alvear
Ingeniero Forestal
Laboratorio de Incendios
Forestales
Facultad de Ciencias Forestales
Universidad de Chile
gjulio@uchile.cl

La expresión “Pronóstico de Incendios Forestales”, también conocida como “Evaluación del Grado de Peligro” o “Forest Fire Danger Rating”, debe interpretarse como un proceso orientado a estimar los problemas o efectos que se generarán como consecuencia del riesgo y del peligro que probablemente afectarán en un futuro inmediato y mediano a los recursos naturales renovables de una zona determinada.

El proceso debe incluir, además de la evaluación de las condiciones ambientales relacionadas con la probabilidad de inicio y propagación del fuego, y de los consiguientes daños directos e indirectos que puedan producirse, el empleo de índices o indicadores basados en esos resultados, que faciliten la toma de decisiones requeridas para reducir o evitar los problemas potenciales que podrían derivarse. Es decir, acciones tales como la prevención, la detección, la programación temprana de operaciones de presupresión, el despacho, el combate, el uso del fuego y la planificación misma del manejo del fuego, requieren, dentro de un marco razonable de eficiencia esperada, fundamentarse, organizarse y ejecutarse sobre la base de los pronósticos de riesgo, peligro y daños.

En consecuencia, un sistema de pronósticos de incendios forestales debe necesariamente concebirse como un componente básico del manejo del fuego, porque el objetivo fundamental que se persigue es justamente eliminar o mitigar los problemas que puedan generarse con la iniciación, propagación y conflictividad de eventuales incendios.

Por consiguiente, los pronósticos podrían calificarse en tres categorías, dependiendo de la oportunidad o momento en que se desea evaluar el grado de peligro, y del tipo de acciones de manejo del fuego que pueden aplicarse de acuerdo a los resultados que se obtengan.

14.1.1. La primera categoría está referida a las contingencias en tiempo real, producidas por uno o varios incendios que ya se han iniciado y reportados a una central de operaciones. En este caso, el pronóstico estará referido al potencial comportamiento del fuego, en un lapso en el cual las condiciones

ambientales y meteorológicas que afectan al incendio ya son conocidas y, por lo tanto, es posible simular su velocidad de expansión, modelo de propagación, niveles de conflictividad y posibles daños. La información generada por la simulación es útil en los siguientes aspectos:

- a) En el despacho, en relación a los tipos y cantidades de recursos de combate que requieren movilizarse, en atención al esfuerzo estimado para el control y a las especificaciones mismas para las operaciones que se prevén.
- b) En la estrategia de combate, respecto a los tipos de líneas de control, y las localizaciones y medios para establecerlas, con el fin de lograr la mayor eficiencia posible en la supresión del incendio.
- c) En situaciones de simultaneidad de incendios y limitaciones de recursos de combate para afrontar todos los eventos. La simulación permite jerarquizar los casos presentes, estableciendo un orden para la asignación de los medios disponibles, de modo de atender, prioritariamente, a aquellos que potencialmente signifiquen los mayores problemas o daños.

14.1.2. La segunda categoría se relaciona con la estimación de la ocurrencia de incendios en el plazo inmediato, esto es, en las próximas horas y días siguientes, por una extensión de tiempo que dependerá de la confiabilidad de los pronósticos meteorológicos y de la condición de los modelos de combustibles en los que posiblemente se origine y propague el fuego. Para este caso, la información de los pronósticos debe apoyar a las siguientes acciones:

- a) En la prevención, en el sentido de intensificar las actividades destinadas a evitar que los incendios se inicien en las zonas en que se prevé una mayor ocurrencia.
- b) En la detección, de modo de reforzar la vigilancia en los sectores donde se pronostica la iniciación de incendios, de manera de minimizar los tiempos de descubrimiento, localización y reporte.

- c) En la programación diaria de operaciones, a fin de ordenar el empleo de recursos disponibles para la presupresión y el combate, especialmente de aquellos móviles, a fin de concentrar la cobertura de las capacidades existentes en los sectores con mayores niveles de riesgo y peligro.
- d) En el uso del fuego y otras operaciones silvoagropecuarias, con la finalidad de restringir las actividades que representen riesgos de incendios en los sectores de mayor grado de peligro.

14.1.3. La tercera categoría es de carácter estratégica, referida a la situación general prevista para el mediano y largo plazo, en un horizonte futuro que podría fluctuar desde uno a varios años. El proceso, en este caso, se acostumbra abordar a través de la determinación de prioridades de protección, mediante la cual se planifica espacialmente el sistema de protección de modo de establecer un diseño para las operaciones de prevención, presupresión y combate que privilegie la cobertura de los sectores que observen los mayores niveles de riesgo, peligro y daño potencial.

14.2. EVOLUCIÓN DEL PRONÓSTICO DE INCENDIOS EN EL MUNDO

Las referencias que a continuación se exponen, están referidas a la segunda de las categorías de pronósticos señaladas en la sección precedente. Es decir, respecto a la estimación del grado de peligro para un período futuro inmediato.

En ese contexto, la primera referencia bibliográfica conocida sobre pronósticos de incendios es del año 1886, cuando A. White, de Estados Unidos, se refiere en términos cualitativos sobre la importancia de la meteorología en la evaluación del grado de peligro. El tema es retomado en 1914 por E. A. Beals, quien menciona la necesidad de emplear la información meteorológica como una pauta para determinar la probabilidad de ocurrencia de incendios forestales. Esta inquietud es recogida por S. B. Show, en 1918, cuando estableció para el Estado de California las primeras relaciones matemáticas entre factores

meteorológicos (velocidad del viento, tasa de evaporación y contenido de humedad de la vegetación) con variables tales como la probabilidad de ignición y la velocidad de propagación del fuego.

El primer índice de grado de peligro propiamente tal debe atribuírsele a H. T. Gisborne, del Servicio Forestal de Estados Unidos, quién en 1928 diseñó un sistema para establecer los diferentes niveles de problemas sobre inicio y comportamiento del fuego en relación a los factores meteorológicos y ambientales. Este índice, que lo denominó "Forest Fire Danger Measure", consideraba cinco variables (Rango de Visibilidad, Condición e Inflamabilidad del Combustible, Velocidad del Viento, Estación del Año y Número de Personas en el Bosque), las que al combinarse determinaban 120 situaciones diferentes, y que agrupó en siete clases, en las cuales se entregaban pautas de alerta, vigilancia y despacho de recursos de combate para las contingencias que podrían producir. Para estos efectos empleaba un conjunto de reglillas circulares que integraban la información de las variables, basado en una guía para la toma de fotografías.

A partir del índice creado por Gisborne, se inicia en Estados Unidos, Canadá y otros países una avalancha de propuestas de fórmulas para el pronóstico de incendios forestales. El hecho es que en 1950, solamente en Estados Unidos, ya estaban operando alrededor de 2.000 índices basados en esquemas distintos, la mayoría focalizados a zonas específicas, y orientados para diferentes propósitos, conformando una verdadera anarquía en la materia. Ante esta situación, el Servicio Forestal de Estados Unidos decidió, en 1959, iniciar el desarrollo de un Sistema Nacional de Evaluación del Grado de Peligro-NFDR (National Forest Fire Danger Rating System), concluyendo los resultados preliminares en 1963 y el diseño definitivo en 1972.

La estructura del NDFR contempla tres índices específicos (Ocurrencia, Carga y Combustión), cuyos resultados se integran para la determinación de un indicador global (Índice de Severidad). Los índices específicos se alimentan de la información proveniente de tres componentes del comportamiento del fuego (Ignición, Propagación y Energía Liberada), los que a su vez se basan en antecedentes derivados de estimaciones subjetivas (Riesgo Natural y Riesgo

Humano), estimaciones objetivas (Contenido de Humedad de Combustibles Muertos para las diferentes clases de Tiempo de Retardación, Contenido de Humedad de Combustibles Vivos, Pendiente y Modelos de Combustibles) y observaciones meteorológicas (Temperatura, Nubosidad, Humedad Relativa, Precipitaciones y Velocidad del Viento).

Por su parte, en Canadá se originó un proceso similar al de Estados Unidos, con la construcción de un primer índice en 1938, gracias a las investigaciones de Wright y Beall, que conformó las bases para iniciar, en 1970, el desarrollo de un Sistema Nacional de Evaluación del Grado de Peligro (Fire Weather Index – FWI). La estructura de la primera versión del FWI es publicada por C.E. van Wagner en 1974, y después de diversos procesos de validación y ajustes, el grupo de investigadores encabezado por B. Lawson publica, en 1993, el diseño definitivo del sistema.

El FWI es un rango numérico de la intensidad calórica de un eventual incendio que se pronostica, derivado de la combinación de los resultados de dos índices específicos: Propagación Inicial (ISI) y Combustión (BUI). Éstos se alimentan de las informaciones provenientes de tres componentes o códigos: Humedad de Combustibles Finos (FFMC), Humedad de la Hojarasca (DMC) y Factor Sequía (DC), los que a su vez operan sobre la base de información meteorológica (Humedad Relativa, Velocidad del Viento, Precipitaciones y Temperatura).

Diversos otros países, entre los cuales se destacan Australia, Francia, España, Japón y Rusia, han impulsado el desarrollo de sistemas de pronósticos de incendios forestales, los que conceptualmente no difieren significativamente a los elaborados en Estados Unidos y Canadá. Estos sistemas se han estabilizado en cuanto a sus conceptos y diseños, y no se prevén cambios significativos en los tiempos futuros próximos. Sin embargo, en sus aspectos instrumentales, se ha verificado un importante desarrollo gracias a los avances de la cartografía digital y a la captura de información basada en sensores remotos, por medio de satélites y estaciones meteorológicas automáticas, capaces de captar la energía que emiten los diversos elementos que componen la atmósfera y la superficie de la tierra, fundamentando el diseño de nuevos indicadores que

mejoran la eficiencia de los sistemas de evaluación del grado de peligro, como es el caso del NDVI (Normalized Difference Vegetation Index).

14.3. EVOLUCIÓN DEL PRONÓSTICO DE INCENDIOS EN CHILE

La primera fórmula fue construida por G. Julio en 1968, y correspondió a un Índice de Ocurrencia, cuyo propósito era determinar la probabilidad de inicio de incendios. Se basó en coeficientes de correlación calculados entre los valores diarios de un sinnúmero de factores meteorológicos (quedando seleccionados la temperatura, la humedad relativa y la precipitación acumulada) y la ocurrencia de incendios para las 22 zonas de grado de peligro definidas para el país. Para cada una de estas zonas se ajustó la fórmula de acuerdo a las condiciones meteorológicas prevalecientes y sus efectos en la ocurrencia. Por ejemplo, para la Zona 5, que representaba el Valle Central entre las provincias de Santiago y Talca, la expresión era:

$$I = 4t + 3s + 2h$$

En donde "I" representaba la probabilidad de ocurrencia en una escala de 10 a 50 puntos (desde un nivel Bajo a uno Extremo), y "t", "s" y "h" a alguna de las cinco clases de valores de temperatura, precipitación acumulada y humedad relativa, respectivamente, existentes en el momento de la determinación del grado de peligro.

Con el objeto de facilitar el cálculo del Índice de Ocurrencia, se confeccionó una reglilla circular que permitía conocer el nivel de probabilidad, marcando directamente los valores de los tres factores meteorológicos.

Posteriormente, J. Dieterich, en 1973, modificó el índice siguiendo un procedimiento empírico, introduciendo a la velocidad del viento como un cuarto factor meteorológico en la determinación de la probabilidad de ocurrencia.

En 1987, G. Julio formuló las bases para el Programa Nacional de Investigación en Manejo del Fuego en el que, respecto a la determinación del grado de

peligro, propone los protocolos para el desarrollo de un sistema nacional de pronósticos de incendios forestales basado en cuatro índices específicos: Riesgo, Severidad, Propagación y Combustión. Adicionalmente, se contempló el procedimiento de integración de los resultados de los cuatro índices, con el propósito de diseñar un Índice Global o de Carga Total.

La propuesta fue recogida por el Consejo Técnico de Coordinación de Manejo del Fuego CONAF-Empresas Forestales, y encarga al grupo de investigación dirigido por G. Julio la elaboración del Índice de Riesgo. Los trabajos concluyeron en 1989 con una versión preliminar. El diseño definitivo se logró en 1991, después de un período de dos años de pruebas y validaciones.

El Índice de Riesgo se basa en una fórmula general que define la probabilidad de ocurrencia de incendios forestales en los diferentes sectores del territorio comprendido entre las regiones V y X, inclusives. Los resultados de la fórmula, calculada por medio de un análisis de regresión lineal múltiple y que a continuación se presenta, se califican en una escala de 0 a 100, segregada en cinco categorías de riesgo (Nulo, Bajo, Medio, Alto y Extremo).

$$y = 17,6653 + 1,1692x_1 - 0,4378x_2 + 0,3473x_3 + 18,6862x_4 - 0,2664x_5$$

En donde "y" es la probabilidad de ocurrencia diaria; "x₁" la temperatura del aire en C°; "x₂" la humedad relativa del aire en %; "x₃" la velocidad del viento en nudos; "x₄" es un factor de estacionalidad con valores que fluctúan entre 1 y 3 (según tabla); y "x₅" un factor de sequía, con valores que fluctúan entre 0,5 y 70 (según tabla).

El Índice General puede ser reemplazado por 15 Índices Específicos que representan, en forma más precisa, a un mismo número de Zonas de Riesgo en que fue subdividido el territorio evaluado. Estos índices específicos mantienen la misma estructura y variables del índice general, variando solamente el factor de posición y los coeficientes de las variables independientes.

Posteriormente, con el desarrollo del Sistema Kitral, sobre Prognosis y Gestión en el Control de Incendios Forestales, construido en el período 1993-96 por un consorcio conformado por la Universidad de Chile (Facultad de Ciencias

Forestales y Centro de Estudios Espaciales), INTEC Chile y el Instituto Forestal, se crearon por medio de sus diferentes módulos un conjunto de indicadores para el pronóstico de incendios. Entre los más importantes cabe destacar:

- a) **Módulo de Riesgo.** Permite la operación del Índice de Riesgo.
- b) **Simuladores.** Expansión de Focos y Campos de Viento, que pronostica los modelos de propagación del fuego, los niveles de intensidad calórica y el esfuerzo de control Índices de Propagación, Combustión y Severidad.
- c) **Módulo de Despacho.** Pronostica los niveles de esfuerzos de control y define las bases para la programación diaria de operaciones y las opciones de asignación de recursos para el combate incendios forestales (Índice de Carga).
- d) **Módulo de Planificación.** Permite la determinación de prioridades de protección, sobre la base del pronóstico estratégico del riesgo, peligro y daño potencial, y fundamenta el diseño espacial de las operaciones de manejo del fuego.

Con posterioridad, especialmente en el último quinquenio, han surgido diversas iniciativas respecto a los pronósticos de incendios forestales, que corresponden a acciones aisladas y que esencialmente se refieren al mejoramiento de aspectos instrumentales, como la captura de información mediante satélites, la aplicación de tecnologías de información y comunicaciones, o bien, modelamientos meteorológicos. También se constatan algunos esfuerzos en la aplicación de sistemas e índices utilizados en el extranjero, particularmente desarrollados en Estados Unidos y Canadá, pero sin considerar el estudio de los necesarios ajustes a las condiciones prevalecientes en Chile.

14.4. COMENTARIOS SOBRE EL FUTURO DE LOS PRONÓSTICOS EN CHILE

14.4.1. Necesidad de un Trabajo Mancomunado

Es indudable que los esfuerzos que se realicen por consolidar y fortalecer los sistemas de pronósticos de incendios forestales deben ser aplicados a un nivel nacional, especialmente en el caso de Chile, en donde el manejo del fuego se lleva a efecto en una importante medida a través de acciones coordinadas entre las instituciones públicas y privadas que poseen responsabilidades en la protección de los recursos naturales renovables.

La experiencia de países que han alcanzado los mayores desarrollos en el tema, demuestra la conveniencia de integrar las capacidades de especialistas e instituciones en torno a un programa de trabajo global y mancomunado para lograr resultados efectivos, en el sentido de otorgar una adecuada satisfacción a las diversas demandas que en la materia plantean, tanto la Sociedad, como los diferentes actores involucrados en la materia.

Debe tenerse presente, siempre, que el tema de los incendios forestales se caracteriza por ser altamente complejo. Algunos de los argumentos que avalan esta afirmación se enuncian a continuación:

- a) La naturaleza estocástica y contingente de la ocurrencia de incendios forestales.
- b) La extensión, dispersión y variabilidad de escenarios en las operaciones de manejo del fuego.
- c) La diversidad y heterogeneidad de las funciones, especialidades y tareas involucradas.
- d) Los efectos en cadena que provocan los incendios forestales, que no sólo impactan a los propietarios de los terrenos afectados, sino que a la comunidad en general.
- e) La constante disyuntiva entre optar por la eficiencia o por la efectividad en la gestión de la protección.
- f) La conveniencia de acciones planificadas, en lo posible con decisiones

programadas anticipadamente, pero en ambientes que por lo general son de alta incertidumbre.

- g) La necesidad de la coordinación interinstitucional para los sistemas de manejo del fuego, los que a su vez están supeditados a administraciones superiores, y éstas a la exigencia de un alto grado de plasticidad en sus propios esquemas organizacionales ante la contingencia de los incendios.

Los argumentos recién señalados llevan a la conclusión de establecer una profunda normalización de las actividades de manejo del fuego, la que requiere ser asumida, principalmente, por las organizaciones que poseen las mayores responsabilidades en la materia, aspectos como las competencias laborales, los estándares de productividad, las especificaciones de protocolos y esquemas de organización y la selección de equipos. Incluso hasta la terminología y la conceptualización de los componentes de la prevención, presupresión y combate debieran estar regulados para todo el país, de otra forma la ineludible interacción entre los actores participantes no será eficiente.

Lo anterior es fundamental en el tema de los pronósticos de incendios forestales, por la profunda transversalidad y efecto que poseen en el ejercicio de las diversas actividades del manejo del fuego. Tanto los objetivos del sistema de índices, como su diseño, implementación y uso, debieran establecerse como una normativa única y válida para todas las instituciones. En tal sentido, si bien no es posible restringir las iniciativas aisladas de personas o instituciones por impulsar nuevos avances en el tema, se requerirá hacer todo lo posible para que ellas se encaucen dentro de un programa integral de interés común. En Chile se evidencia una precaria capacidad para la investigación y desarrollo en manejo del fuego y, como es obvio, sería irracional utilizarla en acciones aisladas, no coordinadas, paralelas o desperfiladas.

14.4.2. Referencias sobre la Tarea Futura

Se considera que las tareas que debieran impulsarse para consolidar el desarrollo de los sistemas de pronósticos de incendios forestales para Chile,

no debieran estar referidas, preferentemente, a las fórmulas que hasta la fecha se han utilizado. Si bien es conveniente revisar periódicamente los índices en uso y mejorarlos o modernizarlos, en los aspectos que sean necesario producto de sus evaluaciones, se estima que el problema principal reside en la insuficiencia y baja confiabilidad de la información disponible, y de las limitadas capacidades actuales para su captura, disseminación y empleo de sus resultados.

Sobre el problema de la insuficiencia y baja confiabilidad de la información, cabe señalar tres aspectos preponderantes a considerar en el desarrollo de los sistemas de pronósticos:

- a) Estado atmosférico (factores meteorológicos), en cuanto a su influencia en la ignición y propagación e intensidad de los incendios, en esquemas de predicción en tiempo real, en un plazo inmediato (horas siguientes) y en el corto plazo (desde uno a varios días).
- b) Ambientes presentes en la superficie terrestre (modelos de combustibles, condición de la vegetación, topografía) que influyen en el comportamiento potencial del fuego y en el esfuerzo de control.
- c) Tipología y distribución espacial del comportamiento del riesgo humano, relacionado con la causalidad de incendios, también en esquemas predictivos para el tiempo real, plazo inmediato y próximos días.

Respecto a las capacidades para capturar, disseminar y utilizar la información, se estima importante referirse a los siguientes aspectos:

- a) La evaluación de los diferentes medios alternativos factibles de emplear para identificar, recolectar y transferir o transmitir los antecedentes requeridos en los ámbitos meteorológicos, comportamiento del fuego y riesgo humano antes mencionados.
- b) El diseño de los protocolos de calificación y procesamiento de la información, de acuerdo a los propósitos que se definan, especialmente

respecto a los componentes o factores a considerar en los índices específicos que conformen el sistema de pronósticos.

- c) Los mecanismos de difusión de los resultados de los índices del sistema de pronósticos, considerando principalmente a los usuarios de la información (centrales de operación y operadores de manejo del fuego), y también respecto a los grupos humanos de riesgo que requieren sensibilizarse de modo preventivo.
- d) La elaboración de las pautas de interpretación y utilización de los resultados generados por el sistema de pronósticos por parte de los operadores del manejo del fuego, con el objeto de lograr un efectivo apoyo en la planificación, programación y ejecución de las diferentes tareas comprendidas en la prevención, presupresión, combate y uso del fuego.

Como se podrá apreciar del análisis de los dos grupos de aspectos recién expuestos, se constata que el desafío en investigación y desarrollo tecnológico para el establecimiento de un sistema nacional de pronósticos de incendios forestales será una tarea de gran envergadura, si es que se toma la decisión de abordarla a través de un proceso que asegure la calidad, cobertura y utilidad esperadas.

Estratégicamente, lo recomendable sería formular un proyecto global sobre la construcción del sistema de pronósticos y, posteriormente, de acuerdo a las prioridades que se definan, establecer el cronograma de trabajo de diseño e implementación requerido para avanzar gradual y sostenidamente, de acuerdo a las capacidades de investigación y desarrollo con que realmente se disponen. Lógicamente, la velocidad y eficiencia del proceso será directamente proporcional al nivel de decisión de trabajo interinstitucional e interdisciplinario que se adopte.

Por otra parte, aunque pareciera significar un aspecto menor, la capacitación del personal de los programas de manejo del fuego respecto a los pronósticos de incendios posee una alta relevancia, por lo que requiere ser considerada

debidamente. Al respecto, cabe recordar que en el uso del Índice de Riesgo en Chile se han formulado permanentemente críticas referidas a su baja confiabilidad. Si bien está claro que esta fórmula requiere modernizarse, porque se elaboró ya hace cerca de 15 años, y en condiciones muy diferentes a las actuales, las diferentes evaluaciones realizadas han demostrado su alta confiabilidad, y que los problemas denunciados realmente corresponden al desconocimiento del modo de operación de la fórmula, o bien, por el empleo de antecedentes incorrectos para alimentar su funcionamiento.

14.5. LITERATURA CITADA

Deeming, J. E., Lancaster, B. N., Fosberg, M. A., Furman, R. W., Schroeder, M. J. 1972. National Fire Danger Rating System. USDA Forest Service, Res.Pap. RM-84., Fort Collins. 165 p.

Gisborne, H. T. 1936. The Principles of Measuring Forest Fire Danger. *Journal of Forestry*, 34:786-793.

Julio, G. 1990. Diseño de un Índice de Riesgo de Incendios Forestales para Chile. *Bosque*, 11(2):59-72.

Julio, G. 2001. La Investigación del Manejo del Fuego en Chile-Avances y Proyecciones. Actas XVIII Jornadas de Evaluación del Manejo del Fuego. Consejo Técnico de Coordinación CONAF/Empresas Forestales. Concepción, 10 p.

Julio, G., Castillo, E., Pedernera, P. 1995 Diseño Funcional de Simulador de Incendios Forestales. Actas taller Internacional Prognosis y Gestión en Control de Incendios Forestales. Proyecto FONDEF FI-13, Santiago, pág. 182-204.

Lawson, B. A., Stocks, B. J., Alexander, M. E., Van Wagner, C. E. 1985. A System for Predicting Fire Behavior in Canadian Forests. Proc. IX Conference Fire and Forest Meteorology, pag 6-10.

Turner, J. A., Lillywhite, I. M., Piezlak, Z. 1961 Forecasting for Forest Services. *World Metheo.Org., Techn.Report N° 42.*, 55 p.

Vélez, R. 2000. La Defensa contra Incendios Forestales -- Fundamentos y Experiencias. Mc Graw Hill, Madrid. 1050 p.