

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS DE MONTES



**ESTUDIO DE LA ESTRUCTURA Y FUNCIONAMIENTO
DE DOS ÍNDICES DE PELIGRO METEOROLÓGICO DE
INCENDIOS FORESTALES. APLICACIÓN A TRES
ZONAS CLIMÁTICAS DE ESPAÑA PENINSULAR**

TESIS DOCTORAL

MARÍA ISABEL MANTA NOLASCO
Ingeniera Forestal, M. Sc.
Universidad Nacional Agraria La Molina, Perú

Madrid, 2003

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA FORESTAL
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS DE MONTES



**ESTUDIO DE LA ESTRUCTURA Y FUNCIONAMIENTO DE DOS
ÍNDICES DE PELIGRO METEOROLÓGICO DE INCENDIOS
FORESTALES. APLICACIÓN A TRES ZONAS CLIMÁTICAS DE
ESPAÑA PENINSULAR**

Doctoranda: **MARÍA ISABEL MANTA NOLASCO**
Ingeniera Forestal, M. Sc.

Director de la Tesis: **RICARDO VÉLEZ MUÑOZ**
Dr. Ingeniero de Montes
DGCN, España

Director de la Tesis: **DOMINGOS XAVIER VIEGAS**
Dr. Ciencias de Ingeniería Mecánica
Universidad de Coimbra, Portugal

Tutor de la Tesis: **SANTIAGO VIGNOTE PEÑA**
Dr. Ingeniero de Montes
ETSI Montes, UPM

Madrid, 2003

Tribunal nombrado por el Mgfco. y Excmo. Sr. Rector de la Universidad Politécnica de Madrid, el día ...19..... de ..Noviembre..... de 2003.

Presidente D.Eugenio Martínez Falero.....

Vocal D.Alfredo Blanco.Andray.....

Vocal D.Mercedes Guijarro.Guzmán.....

Vocal D.Antonio Vázquez de la Cueva.....

Secretario D.Susana Martín Fernández.....

Realizado el acto de defensa y lectura de la Tesis el día ...5.... de ..Diciembre..... de 2003.

En

Calificación:

EL PRESIDENTE

LOS

VOCALES

EL SECRETARIO

A Eulalia, mi madre

A Enrique, mi padre y amigo (en memoria)

A Julián y Salvador, Erich y Ursula, mis sobrinos

A Juan Carlos y José María, Rosario y Julián Fernando, mis hermanos

AGRADECIMIENTOS

Quiero que las primeras palabras de esta tesis doctoral sean para manifestar mi gratitud a los doctores Domingos Xavier Viegas y Ricardo Muñoz. A Domingos y Ricardo, por la amabilidad de aceptar dirigir esta investigación, por las sugerencias y revisión del trabajo realizado cuyo resultado inmediato ha sido la redacción de esta tesis doctoral.

Mi más profundo reconocimiento al Ingeniero Antonio Mestre Barceló por el interés y comentarios realizados durante las frecuentes conversaciones que ocuparon su valioso tiempo y que contribuyeron a la mejora de este trabajo. Mi agradecimiento a Santiago Vignote, por mantener el ambiente propicio para realizar esta investigación y por la ayuda que me ha prestado durante los tres largos años de estudio e investigación en esta Escuela. A Susana Martín por absolver mis dudas estadísticas.

A la Universidad Nacional Agraria la Molina, en la Facultad de Ciencias Forestales, mi más profundo agradecimiento por haber brindado la comisión de servicios que aún en situación de difíciles recursos materiales y económicos, apoyaron mi idea y solicitud de capacitarme fuera del Perú

A la Agencia Española de Cooperación Internacional (AECI) en el marco del Programa de Doctorado del Ministerio de Asuntos Exteriores, por dado prioridad a esta área de investigación, otorgándome una de las becas asignadas a los países de Ibero América.

A la Dirección General de Conservación de la Naturaleza, en el Área de Defensa contra Incendios Forestales por haber facilitado la base de datos de incendios Forestales, sin los cuales no hubiera sido posible la realización de este trabajo

A el Instituto Nacional de Meteorología, en la Subdirección General de Redes, Sistemas y Producción Meteorológica por haber facilitado la base de datos meteorológicas sin los cuales no hubiera sido posible la realización de este trabajo.

A la Universidad de Coimbra, en el Departamento de Ingeniería Mecánica y a la Asociación de Desarrollo Aerodinámico Industrial, instituciones que apoyaron mis estancias de capacitación e investigación en Portugal. Al Doctor Almerindo Ferreira,

del Departamento de Ingeniería Mecánica, Universidad de Coimbra, por su estimable ayuda en la elaboración del programa informático, el que facilitó el tratamiento informático de los datos, sin el que hubiese sido más difícil de haber llevado por adelante la investigación

Quiero también agradecer a los Doctores Arturo Días de Barrionuevo, Director de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes, Manuel Cortijo Martínez, Presidente de la Comisión de Investigación y Doctorado, Consuelo Gonzáles, Presidenta de la Comisión de Estudios, Ramón Argüelles, Presidente de la Comisión de Extensión Universitaria, quienes apoyaron mi participación en actividades de investigación y de la profesión dentro y fuera de España. Igualmente a los Doctores e Ingenieros Joaquín Solana, Alberto Madrigal, Antonio Notario, Antonio Guindeo, Antonio Camacho, Esperanza Ayuga, Berta Domínguez, Irena Tronkwa, José Luis García y Ricardo García por haberme brindado amistad y hospitalidad, facilitado mi integración al ambiente universitario que se vive en esta Escuela. A mis colegas del Departamento de Economía y Gestión Forestal, en especial a los profesores José Olivares y Eduardo Tolosana por su compañía en estos años de estudio. Al Ing. José Martos por haber facilitado mi encuentro con la ciencia. La investigación y la cultura española, al ofrecerme información necesaria en los primeros momentos en que le expuse mis intenciones, de iniciar la aventura de investigar lejos de mi tierra, el Perú

Finalmente a la Fundación Conde del Valle de Salazar; al personal de la Biblioteca, de la Sección de Informática, del Departamento de Publicaciones, del Comedor, y demás personal de servicio de la Escuela quienes facilitaron de una u otra manera mis actividades de investigación y capacitación.

INDICE

	Pág
RESUMEN.....	XVI
SUMMARY.....	XVIII
1 INTRODUCCIÓN.....	1
2 JUSTIFICACIÓN.....	4
3 ESTADO DE LOS CONOCIMIENTOS.....	12
3.1 Meteorología e incendios forestales.....	14
3.1.1 Elementos meteorológicos que facilitan el inicio de los incendios forestales.....	17
3.1.2 Elementos meteorológicos que facilitan la propagación De los incendios forestales.....	24
3.2 Índices de incendios forestales.....	34
3.2.1 Definiciones básicas.....	34
3.2.2 Tipos de índices de peligro de incendios forestales.....	36
3.2.2.1 Estáticos o estructurales.....	36
3.2.2.2 Dinámicos.....	38
3.2.2.3 Integrados o avanzados.....	39
3.3 Los índices de peligro meteorológico de incendios forestales.....	40
3.3.1 No acumulativos.....	40
3.3.2 Acumulativos.....	41
3.4 Uso de índices de peligro meteorológico de incendios forestales en España....	45
3.5 El Índice de Peligro de Incendios Forestales “IPIF”	52
3.5.1 Insumos requeridos.....	52
3.5.2 Componentes estructurales.....	57
3.6 Índice Meteorológico de Incendios Forestales “FWI”	59

3.6.1 El Sistema de Valoración de Peligro de Incendios Forestales Canadiense “Canadian Forest Fire Danger Rating System” (CFFDRS).....	59
3.6.2 Insumos requeridos.....	61
3.6.3 Componentes.....	62
3.6.3.1 Subíndices del contenido de humedad.....	65
3.6.3.2 Subíndices del comportamiento del fuego.....	71
3.7 Las estadísticas de incendios forestales en España.....	78
4 OBJETIVOS.....	80
5 MÉTODO y DISEÑO EXPERIMENTAL.....	81
5.1 Descripción de las zonas de estudio.....	81
5.6.1 Localización geográfica.....	81
5.6.2 Elección de las zonas de estudio.....	82
5.6.3 Climatología.....	82
5.6.4 Suelos.....	85
5.6.5 Vegetación.....	86
5.2 Representatividad de los resultados.....	87
5.3 Base de datos de meteorología.....	88
5.4 Base de datos de incendios forestales.....	89
5.5 La estructura de los índices IPIF y FWI.....	90
5.6 El funcionamiento de los índices IPIF y FWI.....	90
5.6.1 Cálculo de los valores diarios de los índices IPIF y FWI.....	91
5.6.1.1 Cálculo del Índice de Probabilidad de Ignición (IPIG)	91
5.6.1.2 Cálculo del Índice Meteorológico de Incendios Forestales (FWI)	92

5.6.2 Descripción estadística de los índices IPIF y FWI.....	93
5.6.2.1 Intervalos de clase.....	93
5.6.2.2 Medidas estadísticas características de los índices IPIG y FWI.....	93
5.6.2.3 Medidas estadísticas características de la ocurrencia de incendios forestales.....	94
5.6.2.4 Prueba de bondad de ajuste a una distribución normal de las normal de las variables “IPIG”, “FWI”, incendios “número de diarios” y “área diaria afectada”.....	94
5.6.3 Sensibilidad de los índices IPIG y FWI frente a la ocurrencia de incendios forestales.....	98
5.6.3.1 Uniformización de los valores diarios de los índices IPIG y FWI.....	98
5.6.3.2 Distribución de frecuencias de los índices uniformizados IPIG’ y FWI’.....	99
5.6.3.3 Relación entre los índices uniformizados IPIG’ y FWI’ y los días en que se producen incendios forestales.....	99
5.6.3.4 Relación entre los índices uniformizados IPIG’ y FWI’ y el número diario de incendios forestales.....	100
5.6.3.5 Relación entre los índices uniformizados IPIG’ y FWI’ y el área diaria afectada por incendios forestales.....	100
5.6.3.6 Grado de asociación entre los valores de los índices IPIG y FWI y la ocurrencia de incendios forestales.....	101
5.6.3.7 Cálculo de la varianza de los índices IPIG y FWI clasificados según niveles del número de incendios y del área afectada.....	103
6 RESULTADOS y DISCUSIÓN.....	106
6.1 Estructura de los índices IPIF y FWI.....	106
6.2 Funcionamiento de los índices IPIF y FWI.....	106

6.2.1	diarios de los índices IPIG y FWI.....	106
6.2.2	Descripción estadística.....	107
6.2.2.1	Distribución de frecuencias de los índices IPIG y FWI.....	107
6.2.2.2	Características estadísticas de los índices IPIG y FWI.....	117
6.2.2.3	Características estadísticas de la ocurrencia de incendios forestales.....	119
6.2.2.4	Prueba de bondad de ajuste a una distribución variables “IPIG”, “FWI”, “número de incendios diarios” y “superficie diaria afectada”.....	126
6.2.3	Sensibilidad de los índices IPIG y FWI frente a la ocurrencia de incendios forestales.....	133
6.2.3.1	Distribución de frecuencias de los índices uniformizados IPIG’ y FWI’.....	134
6.2.3.2	Los valores diarios de los índices uniformizados IPIG’ y FWI’ y su relación con los días en que se producen incendios.....	143
6.2.3.3	Los índices uniformizados IPIG’ y FWI’ y su relación con el número diario de incendios forestales.....	147
6.2.3.4	Los índices uniformizados IPIG’ y FWI’ y su relación con el área diaria afectada por incendios forestales.....	152
6.2.3.5	Grado de asociación entre los valores de los índices IPIG y FWI y la ocurrencia de incendios forestales.....	159
6.2.3.6	Análisis de la varianza de los índices IPIG y FWI clasificados según niveles del número de incendios diarios y del área diaria afectada.....	165
7	CONCLUSIONES.....	179
8	RECOMENDACIONES.....	182
9	BIBLIOGRAFIA.....	183
10	ANEXOS.....	202

INDICE DE TABLAS

<u>Nº</u>	<u>Título</u>	<u>Página</u>
1	Respuestas al cuestionario sobre el uso de índices meteorológicos de incendios forestales.....	6
2	Comunidades y provincias con partes de incendios forestales sin registro del IPIF. Periodo 1991-2000.....	8
3	Dispositivos Legales Estatales y de las Comunidades Autónomas, referidas a la aplicación de índices meteorológicos de incendios forestales.....	10
4	Diferentes factores utilizados en los índices de peligro de incendios.....	37
5	Humedad del combustible ligero muerto para los meses de noviembre, diciembre y enero. De 8:00 a 20:00 horas solares.....	54
6	Humedad del combustible ligero muerto para los meses de febrero, marzo, abril, agosto, septiembre y octubre. De 8:00 a 20:00 horas solares.....	54
7	Humedad del combustible ligero muerto para los meses de mayo, junio y julio. De 8:00 a 20:00 horas solares.....	54
8	Probabilidad de ignición en porcentaje "IPIG" (Posibilidad de ignición del combustible ligero muerto).....	55
9	El índice de alerta "IA". Cuando se hace corresponder el grado de peligro a las clases de peligro se transforma en el índice IPIF.....	55
10	Corrector del contenido de humedad del combustible ligero muerto según meses del año. De 8:00 a 18:00 horas solares (Valor a añadir a valores de Tablas 5, 6 ó 7).....	56

<u>Nº</u>	<u>Título</u>	<u>Página</u>
11	Principales características de los subíndices del contenido de humedad del índice "FWI".....	63
12	Resumen de los valores normales climatológicos medios y extremos de las provincias estudiadas.....	84
13	Especies forestales con mayor presencia (ha) en las provincias estudiadas.....	87
14	Localización y descripción de las estaciones meteorológicas.....	88
15	Valores de frecuencias absolutas de los índices "IPIG" asociadas a las categorías de peligro en las provincias y épocas estudiadas.....	115
16	Medidas estadísticas de centralización y de dispersión de los valores diarios del índice "IPIG" y "FWI" en los periodos y provincias estudiadas.....	118
17	Resumen de la ocurrencia de incendios forestales en las provincias y en todo el periodo estudiado.....	120
18	Medidas estadísticas de centralización y de dispersión del "número de incendios diarios" y del "área diaria afectada" (ha), en los periodos y provincias estudiadas.....	122
19	Número de conatos en las provincias estudiadas, durante el 1 de mayo al 31 de octubre. Periodo 1991-2000.....	125
20	Prueba de bondad de ajuste a una distribución normal de la variable "IPIG" en la provincia de La Coruña (Contraste χ^2 de Pearson).....	126
21	Prueba de bondad de ajuste a una distribución normal de la variable "IPIG" en la provincia de Lugo (Contraste χ^2 de Pearson).....	127

<u>Nº</u>	<u>Título</u>	<u>Página</u>
22	Prueba de bondad de ajuste a una distribución normal de la variable "IPIG" en la provincia de Orense (Contraste χ^2 de Pearson).....	127
23	Prueba de bondad de ajuste a una distribución normal de la variable "IPIG" en la provincia de Ávila (Contraste χ^2 de Pearson).....	127
24	Prueba de bondad de ajuste a una distribución normal de la variable "IPIG" en la localidad de P. Hita, Ávila (Contraste χ^2 de Pearson).....	128
25	Prueba de bondad de ajuste a una distribución normal de la variable "IPIG" en la provincia de Alicante (Contraste χ^2 de Pearson).....	128
26	Prueba de bondad de ajuste a una distribución normal de la variable "IPIG" en la provincia de Valencia (Contraste χ^2 de Pearson).....	128
27	Prueba de bondad de ajuste a una distribución normal de la "variable FWI " en el área estudiada (Contraste de kolmogorov Smirnov, versión de Lilliefors).....	129
28	Prueba de bondad de ajuste a una distribución Poisson de la población "número de incendios diarios" en la provincia de La Coruña (Contraste χ^2 de Pearson).....	130
29	Prueba de bondad de ajuste a una distribución Poisson de la población "número de incendios diarios" en la provincia de Lugo (Contraste χ^2 de Pearson).....	130
30	Prueba de bondad de ajuste a una distribución Poisson de la población "número de incendios diarios" en la provincia de Orense (Contraste χ^2 de Pearson).....	131

<u>Nº</u>	<u>Título</u>	<u>Página</u>
31	Prueba de bondad de ajuste a una distribución Poisson de la población "número de incendios diarios" en la provincia de Ávila (Contraste χ^2 de Pearson).....	131
32	Prueba de bondad de ajuste a una distribución Poisson de la población "número de incendios diarios" en la localidad de Piedra Hita, Ávila (Contraste χ^2 de Pearson).....	132
33	Prueba de bondad de ajuste a una distribución Poisson de la población "número de incendios diarios" en la provincia de Alicante (Contraste χ^2 de Pearson).....	132
34	Prueba de bondad de ajuste a una distribución Poisson de la población "número de incendios diarios" en la provincia de Valencia (Contraste χ^2 de Pearson).....	132
35	Prueba de bondad de ajuste con una distribución normal de la población "área diaria afectada " en las provincias estudiadas (Contraste de Kolmogorov Smirnov, versión de Lilliefors).....	133
36	Modelos de regresión lineal para el "número de incendios diarios" en la primavera, según las provincias estudiadas.....	150
37	Modelos de regresión lineal para el "número de incendios diarios" en el verano y otoño, según las provincias estudiadas.....	150
38	Bondad de los índices homogeneizados IPIG' y FWI' para clasificar la superficie afectada acumulada en los días de peligro extremo acumulado, según la época de primavera y verano-otoño en las provincias estudiadas.....	155
39	Valores del coeficiente de correlación de rangos de Spearman entre los índices "IPIG y FWI" y el "número de incendios diarios", según provincias estudiadas.....	164

<u>Nº</u>	<u>Título</u>	<u>Página</u>
40	Valores del coeficiente de correlación de rangos de Spearman entre los índices "IPIG y FWI" y el "área diaria afectada", según provincias estudiadas.....	164
41	Análisis de la varianza de los índices IPIG y FWI clasificados según tres niveles del "número de incendios diarios" en la primavera según provincias estudiadas (Contraste de Kruskal-Wallis).....	167
42	Análisis de la varianza de los índices IPIG y FWI clasificados según tres niveles del "número de incendios diarios" en el verano-verano-otoño según provincias estudiadas (Contraste de Kruskal-Wallis).....	169
43	Análisis de la varianza de los índices IPIG y FWI clasificados según tres niveles del "número de incendios diarios" en el total de días, según provincias estudiadas (Contraste de Kruskal-Wallis).....	171
44	Análisis de la varianza de los índices IPIG y FWI clasificados según cuatro niveles del "área diaria afectada" en la primavera según provincias estudiadas (Contraste de Kruskal-Wallis).....	173
45	Análisis de la varianza de los índices IPIG y FWI clasificados según cuatro niveles del "área diaria afectada" en el verano-otoño, según provincias estudiadas (Contraste de Kruskal-Wallis).....	175
46	Análisis de la varianza de los índices IPIG y FWI clasificados según cuatro niveles del "área diaria afectada" en el total de días, según provincias estudiadas. Contraste de Kruskal-Wallis.....	177

INDICE DE FIGURAS

<u>Nº</u>	<u>Título</u>	<u>Página</u>
1	Elementos meteorológicos que facilitan el inicio de los incendios forestales.....	18
2	El viento, principal elemento meteorológicos que facilita la propagación de los incendios forestales.....	26
3	Estructura del índice Índice de peligro de Incendios Forestales, IPIF.....	57
4	Estructura del Índice Meteorológico de Incendios Forestales, FWI.....	64
5	Localización geográfica de las zonas de estudio.....	81
6	Número de días observados (Frecuencia) con diferente número de incendios diarios en todo el periodo de estudio de cada provincia.....	97
7	Distribución de las frecuencias absolutas del total de valores diarios del Índices de Peligro de Ignición "IPIG" e Índice Meteorológico de Incendios Forestales "FWI", según provincias estudiadas.....	108
8	Distribución de las frecuencias absolutas de los valores diarios del Índices de Peligro de Ignición "IPIG" e Índice Meteorológico de Incendios Forestales "FWI" en la primavera, según provincias estudiadas.....	110
9	Distribución de las frecuencias absolutas de los valores diarios del Índices de Peligro de Ignición "IPIG" e Índice Meteorológico de Incendios Forestales "FWI" en el verano-otoño, según provincias estudiadas.....	112
10	Número total de incendios diarios, según el periodo total de estudio 1991-2000 y la estadística de la DGCN (2002).....	123

<u>Nº</u>	<u>Título</u>	<u>Página</u>
11	Área total de los incendios diarios, según el periodo total de estudio 1991-2000 y la estadística de la DGCN (2002).....	124
12	Frecuencias relativas del del índice de Peligro de Ignición homogenizado IPIG' e Índice Meteorológico de Incendios Forestales homogeneizado FWI' en los intervalos de clase, en la primavera (a) y en el verano-otoño (b), según provincias estudiadas.....	135
13	Frecuencias acumuladas de los valores del Índice de Peligro de Ignición homogeneizado IPIG' y el Índice Meteorológico de Incendios Forestales homogeneizado FWI' en la primavera (a) y en el verano-otoño (b), según provincias estudiadas.....	139
14	Frecuencias relativas de los días con incendios en los intervalos de clase de los índices homogeneizados IPIG' y FWI' en la primavera (a) y en el verano-otoño (b), según provincias estudiadas.....	144
15	Número medio diario de incendios según valores del Índices de Peligro de Ignición homogeneizado IPIG' e Índice Meteorológico de Incendios Forestales homogeneizado FWI ' en el verano-otoño, en las provincias estudiadas.....	148
16	Área media diaria afectada por los incendios según valores del Índices de Peligro de Ignición homogeneizado IPIG' e Índice Meteorológico de Incendios Forestales homogeneizado FWI ' en el verano-otoño, en las provincias estudiadas.....	153
17	Área afectada acumulada en los días de mayor peligro de los índices homogeneizados IPIG' y FWI' en la primavera (a) y en el verano-otoño (b), según provincias estudiadas.....	157
18	Diagrama de las variables "IPIG y número de incendios diarios" y "FWI y número de incendios diarios", según provincias estudiadas.....	160

<u>Nº</u>	<u>Título</u>	<u>Página</u>
19	Diagrama de la relación entre las variables “valores diarios del índice IPIG y el número de incendios diarios” y “valores diarios del índice FWI y el número de incendios diarios”, según provincias estudiadas.....	162

ÍNDICE DE ANEXOS

<u>Nº</u>	<u>Título</u>	<u>Página</u>
1	Respuestas al cuestionario sobre el uso de índices meteorológicos de incendios forestales.....	203
2	Programa de cálculo del Índice de Peligro de Incendios Forestales IPIF, “Risco”.....	205
3	Programa de cálculo del Índice Meteorológico de Incendios Forestales FWI “Canq”.....	212
4	Datos meteorológicos, número de incendios, área afectada por incendios (ha) Índice de Probabilidad de Ignición (IPIG) e Índice Meteorológico de Incendios Forestales (FWI) en la provincia de La Coruña. Periodo 1991-2000.....	216
5	Datos meteorológicos, número de incendios, área afectada por incendios (ha) Índice de Probabilidad de Ignición (IPIG) e Índice Meteorológico de Incendios Forestales (FWI) en la provincia de Lugo. Periodo 1991-2000.....	228
6	Datos meteorológicos, número de incendios, área afectada por incendios (ha) Índice de Probabilidad de Ignición (IPIG) e Índice Meteorológico de Incendios Forestales (FWI) en la provincia de Orense. Periodo 1994-2000.....	240
7	Datos meteorológicos, número de incendios, área afectada por incendios (ha) Índice de Probabilidad de Ignición (IPIG) e Índice Meteorológico de Incendios Forestales (FWI) en la provincia de Ávila. Periodo 1991-2000.....	249
8	Datos meteorológicos, número de incendios, área afectada por incendios (ha) Índice de Probabilidad de Ignición (IPIG) e Índice Meteorológico de Incendios Forestales (FWI) en Piedra Hita, localidad de Ávila. Periodo 1993-2000.....	261

<u>Nº</u>	<u>Título</u>	<u>Página</u>
9	Datos meteorológicos, número de incendios, área afectada por incendios (ha) Índice de Probabilidad de Ignición (IPIG) e Índice Meteorológico de Incendios Forestales (FWI) en la provincia de Alicante. Periodo 1992-2000.....	270
10	Datos meteorológicos, número de incendios, área afectada por incendios (ha) Índice de Probabilidad de Ignición (IPIG) e Índice Meteorológico de Incendios Forestales (FWI) en la provincia de Valencia. Periodo 1991-2000.....	280
11	Número total de "incendios diarios" ocurridos en un año calendario, en las provincias estudiadas. Periodo 1991-2000.....	290
12	Total anual del "área diaria afectada" por incendios forestales (ha) en las provincias estudiadas. Periodo 1991-2000.....	290
13	Comportamiento de los índices homogeneizados IPIG' y FWI' frente al número de incendios diarios y área diaria afectada en la primavera según provincias estudiadas.....	291
14	Comportamiento de los índices homogeneizados IPIG' y FWI' frente al número de incendios diarios y área diaria afectada en el verano-otoño, según provincias estudiadas.....	298
15	Frecuencias absolutas, relativas y relativas acumuladas de los valores diarios de los índices homogeneizados IPIG' y FWI' y del "número de incendios diarios" en la primavera, en las provincias estudiadas.....	305
16	Frecuencias absolutas, relativas y relativas acumuladas de los valores diarios de los índices homogeneizados IPIG' y FWI' y del "número de incendios diarios" en el verano-otoño, en las provincias estudiadas.....	309

<u>Nº</u>	<u>Título</u>	<u>Página</u>
17	Media diaria de los valores de los índices IPIG y FWI sin homogeneizar, número de incendios diarios (N) y área afectada (A) según intervalos de clase en la primavera, en las provincias estudiadas.....	313
18	Media diaria de los valores de los índices IPIG y FWI sin homogeneizar, número de incendios diarios (N) y área afectada (A) según intervalos de clase en el verano-otoño, en las provincias estudiadas.....	317
19	Frecuencias absolutas, relativas y relativas acumuladas de los valores diarios de los índices homogeneizados IPIG' y FWI' y del "área diaria afectada por incendios" en la primavera, en las provincias estudiadas.....	321
20	Frecuencias absolutas, relativas y relativas acumuladas de los valores diarios de los índices homogeneizados IPIG' y FWI' y del "área diaria afectada por incendios" en el verano-otoño, en las provincias estudiadas.....	325
21	Definiciones de las abreviaturas usadas.....	329

RESUMEN

El estudio de la estructura y funcionamiento de dos índices de peligro meteorológico de incendios forestales: uno de uso Nacional “Índice de Peligro de Incendios Forestales (IPIF)” y el otro de uso Internacional “Índice Meteorológico de Incendios Forestales canadiense (FWI)” ha sido realizado sobre un área de estudio que abarca una superficie de 25.079,50 km² de la zona Atlántica; 8.015,15 km² de la zona Continental y 16.592,82 km² de la zona Mediterránea de la España peninsular.

El objetivo del estudio ha sido analizar la estructura y funcionamiento de los índices IPIF y FWI desde el punto de vista de su uso como elemento de toma de decisiones en la gestión preventiva de los incendios forestales. La metodología utilizada y desarrollada en el análisis puede ser también aplicada a la comparación de la bondad de otros índices prefijados, facilitando el avance hacia la gestión rentable y sostenible de los índices meteorológicos de incendios forestales en España.

La caracterización de la estructura de los índices IPIF y FWI se llevó a cabo por medio de información primaria y secundaria recopilada respectivamente en el Área de Defensa contra Incendios Forestales de la DGCN, el Servicio Forestal de Canadá, así como mediante correspondencia con investigadores de ambos índices en Francia, Italia y Portugal.

Para el análisis del funcionamiento del Índice de Peligro de Ignición “IPIG” (parte del IPIF) y FWI, se han utilizado un conjunto de técnicas estadísticas sobre una muestra de 11.035 puntos correspondientes a la época de primavera y verano-otoño. Se adoptó para ello una escala uniformizada lo que hizo posible comparar la variabilidad a nivel diario, para cada índice, tanto del número de incendios (30.740 incendios, como tamaño de muestra) como del área afectada (195.141,58 ha, como tamaño de muestra). Se han utilizado, además de los parámetros estadísticos descriptivos de centralización y dispersión, contrastes de hipótesis basados en pruebas paramétricas así como pruebas no paramétricas (Coeficiente de Correlación de Rangos de Spearman y Contraste de Kruskal Wallis) y análisis de regresión lineal.

El índice IPIF se obtiene a partir de los elementos meteorológicos: temperatura, humedad relativa, velocidad del viento y el carácter terral o no del viento. En el caso del índice FWI, su cálculo requiere valores diarios (12:00 horas UTC) de temperatura, humedad relativa, velocidad del viento y precipitación de las últimas 24 horas, así como sus valores acumulados de los días previos. La no consideración de la precipitación, de sus valores acumulados en los días previos, así como la clasificación de la velocidad del viento y carácter de viento limitan la valoración del peligro de incendios en el IPIF.

Los componentes estructurales del índice IPIF son: el contenido de humedad de los combustibles ligeros muertos, el índice IPIG y el Índice de Alarma (IA); mientras la estructura del índice FWI considera: el subíndice del contenido de humedad en los combustibles ligeros muertos (FFMC), el subíndice contenido de humedad en la hojarasca (DMC), el subíndice de sequía (DC), el subíndice de propagación inicial (ISI), el subíndice de combustible disponible (BUI) y el Índice Meteorológico de Incendios Forestales “FWI”. De esta relación se deduce que el índice IPIF sólo considera algunos aspectos del peligro de incendios, y en concreto no incluye el comportamiento de los incendios.

El estudio previo de frecuencias sobre las poblaciones de valores de los índices IPIG (valores discretos que varía de 10 en 10, y entre, 10 y 100) y FWI (valores

continuos entre 0 y 91,59), ha indicado que la población de valores diarios del índice IPIG se distribuye según una función en forma de campana en todas las provincias consideradas en la primavera y el verano-otoño, observando los valores más altos de las frecuencias en las categorías de peligro moderada y alta. En cambio, la población de valores diarios del índice FWI se ajusta a una función exponencial negativa en las provincias en la primavera, y en el verano-otoño, en las provincias de la zona Atlántica, mostrando los valores más altos de las frecuencias en la categoría de peligro baja. Tiene una razonable alta frecuencia en las categorías de peligro moderada y alta en el verano-otoño en la zona Continental y Mediterránea, y una adecuada frecuencia en las categorías muy alta y extrema en las provincias Mediterráneas. Las características de la distribución de frecuencias sobre las distintas categorías de peligro obtenidas con el índice FWI y su razonable ajuste a las características climáticas de cada zona avalan las posibilidades de su aplicación en el área estudiada.

El análisis comparativo entre los valores de los índices IPIG y FWI y el hecho de que un día concreto se produzca o no algún incendio ha indicado una ligera destreza para clasificar la variable “días en que se producen incendios”, sobre todo en los intervalos superiores a 50 en la primavera, verano-otoño y en el área estudiada.

La comparación de los valores de los índices IPIG y FWI con la variable “número de incendios diarios”, ha indicado una fuerte dependencia lineal. Los modelos de regresión lineal, construidos para el índice FWI permiten explicar el 69,90% de la varianza cuando se considera el valor medio diario del número de incendios en los días incluidos en cada categoría de peligro, en el conjunto de provincias en la primavera; valor que asciende hasta el 82,83% en el verano-otoño. Con los modelos construidos para el índice IPIG se explican valores inferiores de variabilidad, en el conjunto de provincias, en la primavera y el verano-otoño.

El análisis comparativo de los valores medios de los índices IPIG y FWI con la variable “área diaria media afectada” ha indicado una fuerte dependencia no-lineal. Por ello, y para evaluar adecuadamente la bondad de ambos índices como indicadores del área que se puede ver afectada por los incendios en un día concreto, se ha ideado un método que considera los días en que los índices IPIG y FWI alcanzan valores extremos fijando un determinado valor del percentil de la distribución y utilizando como estimador de la bondad del índice para clasificar los días de máximo peligro, el área afectada en los días citados. Los resultados obtenidos con este método han indicado que el índice FWI es muy bueno para indicar la propagación media de los incendios forestales en el verano-otoño y bueno en la primavera si se le compara con el índice IPIG en las provincias estudiadas.

El contraste directo entre los “valores de los índices y el número diario de incendios” y “valores de los índices y el área diaria afectada” de primavera, de verano-otoño y para todos los días de la muestra de estudio, realizado con el estadístico Rangos del Coeficiente de Correlación de Spearman, han indicado una asociación media sobre el área de estudio en torno a 0,5 para ambos índices, aunque el índice FWI ha mostrado un mayor nivel de asociación en las provincias de La Coruña y Lugo, principalmente.

Finalmente, se ha demostrado mediante técnicas estadísticas que las subpoblaciones de valores diarios de los índices IPIG y FWI clasificados según tres niveles del número diario de incendios y según cuatro niveles del área diaria afectada, son significativamente distintos, no siendo esta diferencia tanto del azar, ello para todas las épocas y provincias estudiadas. La única excepción es el caso de la localidad de Ávila-P.Hita en primavera, para el índice IPIG y la variable número diario de incendios.

SUMMARY

The structure, adequacy, and goodness of two forest fire weather indexes, one of them running at national scale (IPIF) and the other one internationally used (Fire Weather Index-FWI), have been carried out over a study area that includes a total of 25.079,5 Km² in the Spanish Atlantic region, 8.015,15 Km² in the continental part and 16.592,82 km² in the Spanish Mediterranean region..

The goal of the study was to make an analysis of the structure and functioning of the abovementioned indexes from the point of view of their use as decision-making tool for forest fire prevention management purposes. The methodology developed and utilised in this analysis may be also applied for comparing the goodness of other predefined indexes. The results of this research activity constitutes a step forward oriented to achieve a more profitable and sustainable use of forest fire weather indexes in Spain.

The characterisation of the structure of both indexes was undertaken making use of the primary and secondary information collected from the Area of Forest Fire Defence of the Spanish General Directorate of Nature Conservation and from the Canadian Forestry Service. Some information was also received by mail from different researchers who have dealt with these indexes in France, Italy and Portugal

For the analysis of the functioning of the Index Danger of Ignition "IPIG" and FWI indexes, a set of different statistical techniques have been used over a testing sample that includes a total of 11035 cases belonging to spring and summer-autumn seasons. A common normalised scale was adopted for both indexes, allowing the comparison of the variability at daily scale of forest fire occurrence (testing sample including 30740 fires) and burned area (testing sample including 195141,6 Ha). Several test of hypothesis based in parametric as well as in non-parametric techniques (Spearman Rank Correlation Coefficient and Kruskal-Wallis Test), and linear regression analysis have been applied to the sample data besides of the classic descriptive parameters for centralisation and spreading.

To obtain the IPIF index the following meteorological parameters were used as inputs: air temperature; relative humidity, wind speed and direction (in order to determine the occurrence of drying effects). In the case of the FWI index, his computation requires daily values at 12 UTC of air temperature, relative humidity, wind speed and 24-h accumulated precipitation, as well as some cumulative values from previous days. In the case of the IPIG index, the potential range of index values is shortened due the procedure established for classify the velocity and type of wind and the no consideration of the precipitation and cumulative values from previous days for the assessment of the index value.

The structural components of IPIF index comprises the fine fuel moisture content, the IPIG index and the Alarm Index (IA), while the structure of the FWI index include the following: the Fine Fuel Moisture Code (FFMC), the Initial Spread Index (ISI), the Buildup Index (BUI) and the Fire Weather Index "FWI". The results indicate that the index IPIF only takes into account some of the different aspects of forest fire danger rating, non including in particular the structure of fire behaviour.

The previous frequencial analysis carried out over the study sample of IPIG index values (discrete values which varies from 10 to 10, ranking between 10 and 100) and FWI index values (continuous values ranking between 0 and 91,59) have

established that the population of IPIG daily values fits to a normal gaussian function in all the considered provinces in spring and summer-autumn, being observed the highest values of the absolute frequency in the moderate and high danger categories. By the contrary, the FWI index values population fits to a negative exponential function in all the provinces in spring, and in the Atlantic zone in the summer-autumn period, showing the most frequent values in the low danger category. It shows a reasonable frequency of cases in the moderate and high danger categories in the Continental and Mediterranean zone, and an adequate values of the absolute frequency in the very high and extreme danger category in the Mediterranean zone. The characteristics of the frequency distribution trough the different danger categories obtained making use of FWI index and the reasonable fitting to the climate characteristics of each zone vouch the possibility of its application in the study area.

The results of the comparative analysis carried out amongst the IPIG and FWI values and the occurrence or non-occurrence of at least one forest fire in a determined day, have shown an only slight skill for classified this variable (at least one day with fire), over all in the higher danger classes (index values greater than 50) both in spring and summer-autumn seasons in the study area.

The comparison between the FWI and IPIG values with the daily number of fires was indicate the existence of a strong linear dependence between these variables. The results of applying a linear regression model, in the case of FWI allows us to explaining the 69,90 % of total variance for the variable “ daily mean value of fires” for those days included in each danger category, for the whole set of provinces in spring; the total variance explained by the linear regression model reaches up to 82,83% in the summer autumn season.

On the other hand, the results of the comparative analysis of the FWI and IPIG values with the daily burned area indicate the existence of a strong non-linear dependence between these variables. Because of that and for a better assessment of the goodness of both methods as indicators of the amount of area that could potentially be affected by fires in an specific day, It has been developed a method that considers those days with show the most extreme index values, setting a determined percentile of the index value distribution and utilising the total percentage burned area affected by fires in these specific days like an estimator of the goodness of index to discriminate the most dangerous days. The results obtained with this method indicate that the FWI index is remarkable good for expressing the forest fire propagation conditions in summer-autumn seasons, and also good in spring when a comparison with index IPG is carried out over the set of provinces considered in the study.

A direct contrast between the daily values of the indexes and the daily number of fires and daily burned area for both spring and summer –autumn seasons over the whole study sample has been carried out, making use of the Spearman Rank Correlation Coefficient approach to do this. From this study, a mean value of the association coefficient of around 0,5 has been obtained for both indexes, although in the case of the FWI index, a better degree of association amongst the abovementioned variables has been reached mainly in the provinces of La Coruña and Lugo

Finally, it has been demonstrated through statistical techniques that the sub populations of daily index values for both FWI and IPIG, grouped in three different classes depending on the daily number of fires and in four different classes depending on the daily burned area values, are significantly different, in all provinces and for the

study period. The only exception to this rule is the case of Ávila-Piedra Hita location in spring in the case of the variables: index IPIG and number of daily fires.

1. INTRODUCCIÓN

Los incendios forestales han afectado a la Región Mediterránea desde hace millones de años (Ruiz, 2000; Clark y Robinson, 1993), pero su origen era natural y parte del equilibrio de estos ecosistemas. Con la aparición del hombre y el desarrollo de sus actividades, el incendio forestal pasó a ser esencialmente intencionado implicando casi siempre graves pérdidas económicas y daños ambientales. La pérdida económica se manifiesta directa y rápidamente, mientras que los daños ambientales se manifiestan lenta e indirectamente.

En España en la última década (1991-2000) la mayor pérdida se ha manifestado a través de la interrupción de 91 vidas humanas y un total de 762 heridos entre el personal combatiente en labores de extinción. En el mismo periodo, las pérdidas económicas alcanzaron 1.179.955.044,3 € principalmente por pérdida de productos primarios y bienes materiales. Respecto a la valoración económica de las pérdidas en beneficios ambientales éstos ascienden a un total de 2.070.774.584,51 € [Instituto Nacional de Conservación de la Naturaleza “ICONA” (1991 a 1993), Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación (1994) y la Dirección General de Conservación de la Naturaleza “DGCN” (1995 a 2000)]. Se destaca la erosión del suelo, (Vega, 2002), la disminución de la calidad del aire local y la alteración climática global debido a la emisión de gases con efecto invernadero (Miranda, 1998) como consecuencia de los incendios forestales.

Por otra parte, en la última década el número de incendios forestales muestra una tendencia ascendente, mientras que la superficie e intensidad de los mismos tiende a disminuir ligeramente, con altibajos propio de años con veranos especialmente secos. Entre 1991 y 2000 han ocurrido en promedio cerca de 19.265,3 incendios por año, recorriendo 157.898,3 ha anuales, lo cual representa el 36,1 % del área total quemada en Europa Mediterránea (Dirección General del Ambiente y de Protección Civil, et al., 2001).

Frente a esta realidad se puede apreciar la importancia para la DGCN y el Servicio de Protección civil, de disponer de predicciones de incendios forestales específicos, de los lugares y ocasiones donde el riesgo y peligro potencial sea alto, moderado o bajo, para realizar acciones de prevención, manejar los servicios de

vigilancia, y optimizar la localización y preparación de los medios necesarios para la extinción de los mismos.

La literatura sobre índices de incendios forestales muestra diferentes enfoques que pueden ser usados para la determinación del riesgo y peligro. Los métodos de determinación de riesgo y peligro elaborados con parámetros meteorológicos están ampliamente difundidos en los países que sufren este problema, dado que el clima determina la sucesión de periodos secos y húmedos, y en consecuencia la acumulación de la biomasa, la carga de combustible y su estado hídrico (Viegas, 1997).

El ICONA (1982) ha elaborado varios índices meteorológicos para la predicción del peligro de incendios forestales, siendo el Índice de Peligro de Incendios Forestales (IPIF) el que se usa actualmente a nivel de toda España (Cadenas, et. al., 2001); sin embargo los gestores muestran dudas sobre su utilidad práctica. El Instituto Nacional de Meteorología (INM) colabora en las actividades de prevención de incendios desde 1993 (INM, 1996), ocupándose de su validación y modificación.

A la luz del intercambio de conocimientos se realizaron estudios comparativos entre los índices de peligro meteorológico de incendios forestales de algunos países y el Índice Meteorológico de Incendios Forestales “Fire Weather Index” (FWI), parte del Sistema de Valoración del Peligro de Incendios Forestales Canadiense (CFFDRS). Sol (1995) realizó estudios en Francia, Dimitrakoupoulos y Bemmerzuk (1998), en Grecia; Sampaio et al. (1998) en algunos Estados de Brasil y Almeida y Mata Reis (2000) en Portugal; mientras Viegas et al. (1999) realizaron estudios comparativos de mayor escala, de cuatro índices de peligro meteorológico en diferentes regiones de Francia, Italia y Portugal. Los estudios realizados permitieron concluir que el índice FWI, tuvo importantes aptitudes para ser usado en los países investigados. Así mismo, el Servicio Forestal de Nueva Zelandia lo adoptó en 1980 (Alexander (1994) y Fogarti et al. (1998)); mientras en Europa, el Servicio Meteorológico Francés (Sol,1995) y el Instituto de Meteorología de Portugal (Almeida y Mata Reis (2000) y Viegas et al. (2001)) lo adoptaron y adaptaron a las condiciones propias de cada país en 1995 y 1998 respectivamente.

Dado el buen comportamiento del índice FWI para predecir el peligro de ocurrencia de incendios forestales en varios países Mediterráneos esta investigación

pretende mostrar el interés de la aplicación del índice FWI para España peninsular, desarrollando una metodología que permita tener la certeza estadística sobre la capacidad de cada método para indicar las situaciones meteorológicas de peligro de incendios forestales.

Por ello, en el Capítulo 3.1 se analiza los elementos meteorológicos que facilitan el inicio y propagación de los incendios forestales, con la finalidad de profundizar el conocimiento del fenómeno de los incendios forestales y del valor de las predicciones o estimaciones de la variación de estos elementos en un periodo de tiempo y espacio dado.

En el Capítulo 3.2 se hace una exploración de los índices de incendios forestales utilizados por los Servicios Forestales y Meteorológicos de diferentes países; así mismo se actualizan algunas definiciones básicas y se desarrollan brevemente los tipos de índices de peligro usados en la gestión contra los incendios forestales.

En el Capítulo 3.3 se desarrolla en mayor profundidad los índices de peligro meteorológico de incendios forestales usados en diferentes países y se evalúa sus bondades en la gestión contra los incendios forestales.

En el Capítulo 3.4 se analiza el uso de los índices de peligro meteorológico en España, determinando si el estado está organizado legal y administrativamente para hacer uso operativo de este o algún otro índice de peligro meteorológico de incendios.

En el Capítulo 3.5 y 3.6 se desarrolla el objetivo de la Tesis referida a la estructura de los índices IPIF y FWI, caracterizando los elementos meteorológicos requeridos y los componentes estructurales de cada índice.

En el Capítulo 3.7 se realiza el análisis de la base de datos de los incendios forestales, definiendo los incendios forestales y la importancia de separar los pequeños de los grandes incendios.

En el Capítulo 6 a través de técnicas estadísticas paramétricas y no paramétricas se muestra que el índice “FWI” tiene el mejor funcionamiento general para indicar el inicio y la propagación de los incendios forestales reales en la zona Atlántica, Continental y Mediterránea de la España peninsular.

Finalmente en el Capítulo 7 se sintetizan los resultados de esta memoria y en el Capítulo 8 se proponen algunas recomendaciones.

2. JUSTIFICACIÓN

Dentro de la legislación estatal española, la Ley 81/1968 sobre Incendios Forestales, el Reglamento de la Ley de Incendios Forestales (Decreto 3.769/1972) y la Directriz Básica de Planificación de Protección Civil de Emergencia por Incendios Forestales (Orden 2/4/93), vigentes actualmente, se contempla el uso de índices de peligro de incendios forestales. Así mismo, los Estatutos de Autonomía de cada Comunidades, establecen la elaboración de los Planes de Protección Civil de Emergencia por Incendios Forestales y el desarrollo de diferentes dispositivos legales en materia de prevención y lucha contra los incendios forestales.

En los últimos años, la política de defensa contra los incendios forestales establece una serie de medidas destinadas a facilitar principalmente las actividades de extinción de los incendios (Baeza, 2001), así los medios de extinción se han ido incrementando y sofisticando; mientras las técnicas de prevención no han avanzado al mismo ritmo. No obstante, entre las actividades orientadas a la prevención de los incendios forestales se contempla la revisión periódica de los índices de peligro de incendios forestales, dentro de los cuales se encuentra el índice de valoración del peligro meteorológico de incendios forestales (Ministerio de medio Ambiente, 2002). Por la importancia que las condiciones meteorológicas tienen en el desarrollo de las actividades agro-pecuarias y silviculturales de la población española, y así, en la ocurrencia de los incendios forestales, el uso de técnicas como los índices de peligro meteorológico de incendios ocupa un lugar importante dentro del sistema de prevención, ya que permite cuantificar y predecir el peligro de incendios; con ella se puede regular las actividades socio-productivas de las poblaciones locales y reducir el número de los incendios forestales.

Sin embargo, no basta que un índice de peligro meteorológico sea un buen método científico; sino que debe ser usado, aceptado y adaptado por los usuarios a las condiciones reales de cada zona. Como consecuencia, en esta Tesis se evaluó

previamente la opinión de los gestores de la lucha contra incendios forestales respecto el comportamiento del Índice de Peligro de Incendios Forestales (IPIF). Para ello, se usó un cuestionario como instrumento de medida, enviado a través del correo normal (Anexo 1). La población encuestada se compuso de 25 representantes del Comité de Lucha contra Incendios Forestales (CLIF), organismo en el que se coordinan los servicios de las Comunidades Autónomas y de la DGCN para la lucha contra los incendios forestales. El Cuestionario fue contestado por el 68% (17 miembros) de la población total (Tabla 1); luego del procesamiento de la información se determinaron las siguientes razones que justifican la realización de esta Tesis Doctoral:

a) Conocimientos general de los índices meteorológico de peligro de incendios forestales

El conocimiento sobre los índices meteorológicos de peligro de incendios forestales nacionales e internacionales es amplio en toda la población evaluada ya que hacen referencia a los primeros y últimos índices usados en España y a nivel internacional; sin embargo, este conocimiento no es uniforme en toda la población.

En términos globales, dentro de los índices nacionales se menciona: el índice IPIF, el Índice de Peligrosidad de Incendios Forestales en el Levante Español (Comunidad Valenciana), el Índice de Galicia, y finalmente se menciona el Índice del Estrés Hídrico de la Vegetación elaborado por el Laboratorio de Teledetección de la Universidad de Valladolid (LATUV). Así mismo, se menciona a los Índices Sintético y Analítico, usados antes del año 1984.

Respecto a los índices internacionales se nombran los que han tenido mayor repercusión en la gestión de los incendios forestales, es decir: el Índice Potencial de Incendios Forestales (FPI), el antiguo Sistema de Valoración del Peligro de Incendios Forestales de los Estados Unidos (NFDRS), el Índice Meteorológico de Incendios Forestales (FWI) del Sistema CFFDRS, el Índice de peligro y propagación de Incendios Forestales CSIRO para pastos y eucalipto de Australia, también conocido como Índice Mc Arthur.

b) Proliferación de índices de peligro meteorológico de incendios forestales

Los índices de peligro meteorológico que se calculan o utilizan actualmente en las Comunidades Autónomas, son el Índice IPIF, con sus dos componentes el Índice de Probabilidad de Ignición (IPIG) y el Índice de Alarma (IA), el Índice de Peligrosidad de Incendios Forestales en el Levante Español (Comunidad Valenciana), el Índice de la Comunidad de Aragón (en fase experimental), desarrollado por el INM (Centro Meteorológico Territorial de Aragón, La Rioja, y Navarra) y la Diputación de Aragón, y finalmente el Método de la Universidad de Salamanca, basado en la estabilidad de las masas de aire, que no llegó a ser operativo. Las principales características de estos tres índices radican en que consideran diferente escala de peligro, usan los términos riesgo y peligro meteorológicos de incendios forestales indistintamente, definen una situación de emergencia de forma diferente y no han sido validados con la ocurrencia de incendios forestales, salvo el índice IPIF que fue validado y modificado por Cadenas et al. (2001).

Si continua la tendencia a desarrollar índices de peligro meteorológico en cada Comunidad, se corre el riesgo de entorpecer la asistencia y la adopción de medidas en situaciones de urgencia de la Administración General del Estado a las Comunidades Autónomas. Así mismo, el desarrollo de un índice de peligro meteorológico que describa adecuadamente el entorno ambiental de los incendios forestales y que considere las necesidades de los usuarios puede consumir considerables cantidades de tiempo y dinero. Por ejemplo, el Sistema CFFDRS es el resultado del esfuerzo de investigación concertada de un periodo de 78 años (Stocks et al., 1989); así mismo, Burrows, citado por Fogarty et al. (1998), ha estimado que una inversión de 6 millones de \$ australianos y 40 años, han sido necesarios para producir el Índice de Peligro de Incendios Forestales de Mc Arthur.

c) Opinión sobre la utilidad del índice IPIF

El 41,18% de la población evaluada contesta que el índice IPIF es útil; mientras el 47,06% no emite opinión y el 11,76% afirma que éste no es muy

Tabla 2. Comunidades y provincias con partes de incendios forestales sin registro del índice IPIF. Periodo 1991-2000

C. Autónomas y provincias	Partes sin registros del índice de peligro de incendios forestales (%)									
	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
ANDALUCÍA	81,58	82,87	45,57	65,81	54,50	85,10	66,41	69,92	72,66	55,39
Almería	99,36	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	96,92	100,00	100,00	76,81
Cádiz	96,27	100,00	26,09	100,00	58,47	98,59	100,00	100,00	100,00	54,87
Córdoba	100,00	99,40	6,52	22,70	31,69	86,60	100,00	98,88	100,00	99,21
Granada	50,66	53,13	33,04	32,28	0,00	100,00	56,94	27,26	47,76	33,33
Huelva	100,00	100,00	96,97	99,28	99,64	96,97	99,45	100,00	100,00	51,25
Jaén	7,49	10,66	6,51	8,33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Málaga	98,86	99,75	87,50	63,87	65,15	100,00	77,98	38,89	35,62	83,72
Sevilla	100,00	100,00	7,94	100,00	81,08	98,63	0,00	94,35	97,87	43,90
ARAGÓN	38,80	65,86	27,11	67,24	52,73	59,22	54,46	67,01	66,18	42,59
Huesca	23,26	55,38	0,00	1,72	23,85	31,88	0,00	5,38	0,00	0,00
Teruel	93,13	47,67	48,76	100,00	100,00	100,00	100,00	99,19	100,00	28,95
Zaragoza	0,00	94,52	32,56	100,00	34,35	45,79	63,38	96,46	98,54	98,82
ASTURIAS	67,78	0,00	0,00	0,00	0,00	1,84	0,26	0,10	0,26	0,15
CANARIAS	78,22	35,99	47,94	0,00	0,00	95,00	97,44	0,00	56,61	50,28
Las Palmas	61,70	33,33	52,63	0,00	0,00	100,00	100,00	0,00	16,00	54,55
S.C. de Tenerife	94,74	38,64	43,24	0,00	0,00	90,00	94,87	0,00	97,22	46,00
CANTABRIA	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	100,00	2,69	97,96	0,00	0,28
CAST. LA MANCHA	58,44	63,64	27,82	43,31	26,87	24,76	35,01	27,93	39,63	44,69
Albacete	61,06	96,23	27,03	72,88	54,29	42,11	54,41	98,72	98,78	98,68
Ciudad Real	95,33	70,73	68,75	54,64	29,63	14,06	14,75	15,48	26,79	9,09
Cuenca	100,00	68,66	0,88	0,00	0,85	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Guadalajara	8,13	25,29	0,00	0,00	0,00	0,00	46,08	18,10	29,17	15,69
Toledo	27,69	57,29	42,45	89,05	49,59	67,65	59,81	7,36	43,42	100,00
CASTILLA Y LEÓN	63,97	59,56	30,37	34,15	54,44	43,73	69,97	47,55	57,76	36,84
Ávila	100,00	4,59	19,32	74,58	61,82	100,00	52,08	53,59	43,42	41,10
Burgos	14,29	21,10	12,05	40,15	74,49	71,70	93,10	97,73	100,00	98,75
León	100,00	100,00	52,25	46,49	93,20	52,88	85,62	32,71	39,23	48,48
Palencia	92,11	82,05	51,43	65,77	100,00	0,00	93,10	46,67	75,64	0,00
Salamanca	24,63	12,03	1,74	0,00	0,00	13,01	73,89	4,44	49,17	25,48
Segovia	2,22	100,00	0,00	17,05	72,73	98,18	19,57	0,00	24,29	1,33
Soria	100,00	86,49	19,30	13,25	34,78	37,21	69,77	35,00	69,90	38,71
Valladolid	42,86	67,16	17,24	21,35	30,21	20,00	63,16	100,00	50,57	38,93
Zamora	99,62	62,65	100,00	28,74	22,75	0,58	79,40	57,83	67,59	38,79
CATALUNA	100,00	2,27	1,49	0,00	0,09	0,00	0,22	30,48	21,43	21,18
Barcelona	100,00	0,06	1,72	0,00	0,36	0,00	0,00	31,68	18,45	31,43
Girona	100,00	3,45	0,75	0,00	0,00	0,00	0,00	10,34	9,09	3,10
Lleida	100,00	2,78	3,49	0,00	0,00	0,00	0,00	48,37	43,08	46,49
Tarragona	100,00	2,78	0,00	0,00	0,00	0,00	0,87	31,52	15,11	3,70
EXTREMADURA	15,19	99,73	97,115	99,805	80,59	100,00	100	95,445	75,23	89,205
Badajoz	28,33	100,00	94,77	99,76	61,70	100,00	100,00	98,10	97,04	94,56
Cáceres	2,05	99,46	99,46	99,85	99,48	100,00	100,00	92,79	53,42	83,85
GALICIA	99,15	91,30	67,45	73,12	76,91	75,48	88,70	76,55	75,53	76,95
A Coruña	96,94	69,03	45,34	41,07	53,90	27,51	80,16	18,30	20,05	23,90
Lugo	99,82	96,88	71,00	62,30	77,57	90,06	92,43	90,33	82,22	91,08
Ourense	99,83	99,30	99,54	89,67	76,28	84,38	82,28	97,79	99,90	92,83
Pontevedra	100,00	100,00	53,93	99,44	99,88	99,96	99,92	99,76	99,96	100,00
ISLAS BALEARES	100,00	31,85	31,21	51,05	12,93	97,33	23,76	33,04	58,55	29,38
LA RIOJA	1,67	0,00	4,76	12,04	0,00	0,00	0,00	7,14	21,57	4,06
MADRID	0,98	12,58	95,40	58,48	100,00	19,35	37,61	0,00	0,00	0,00
MURCIA	94,44	100,00	100,00	100,00	100,00	82,83	86,78	89,41	86,59	94,38
NAVARRA	1,72	0,00	0,00	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.
PAIS VASCO	37,60	98,92	92,29	100,00	100,00	66,67	73,04	66,67	66,67	66,67
Alava	11,11	100,00	94,74	100,00	100,00	100,00	97,18	100,00	100,00	100,00
Guipúzcoa	1,69	96,77	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Vizcaya	100,00	100,00	82,14	s.d.	100,00	0,00	21,95	0,00	0,00	0,00
VALENCIA	46,38	52,13	36,20	39,51	34,42	65,44	63,94	37,47	36,93	37,07
Alicante	99,61	88,56	99,48	98,36	100,00	100,00	100,00	99,42	100,00	99,37
Castellón	2,38	35,05	8,80	15,60	3,25	96,33	91,82	0,00	0,00	0,00
Valencia	37,15	32,77	0,33	4,57	0,00	0,00	0,00	13,00	10,78	11,84
Promedio anual	62,78	59,16	40,82	47,59	47,02	56,44	57,39	50,76	53,61	45,65
Promedio de la década										52,12

útil debido a que es un índice básico, presenta poca variación en la escala de peligro a lo largo de la Campaña Nacional contra Incendios Forestales, sus valores son poco significativos y no dan lugar a aplicaciones concretas en la mayoría de los casos. Razones que quizá explicaría porque en el 52,12 % (41.310) del total de partes de incendios forestales del periodo 1991-2000, los gestores no han calculado el índice IPIF (Tabla 2).

El 29,41% de la población evaluada contesta que el índice es usado en las actividades de extinción; mientras cerca de la mitad (41,18%) de la población evaluada contesta que no se le utiliza para dicha actividad. Contrastando estos resultado con la información de los partes de incendios forestales se confirma que el 52,12% de ellos no indican la clase de peligro del índice IPIF.

Respecto al uso del índice IPIF en las actividades de prevención, la población evaluada afirma que la Administración de las Comunidades Autónomas usa el índice IPIF en actividades de prevención durante (41,18%) y fuera (29,41) de la Campaña Nacional contra Incendios Forestales, que generalmente tiene lugar de junio a septiembre. Esta afirmación está referida a los dispositivos legales en materia de prevención de la Administración Estatal y de las Comunidades (Tabla 3). La mayoría de la población evaluada no muestra actividades concretas (mapas de las zonas de peligro por ejemplo), reglamentos o procedimientos administrativos para el cumplimiento de los dispositivos legales en materia de prevención de incendios forestales. Una excepción la constituye los ítems “autorización de quemas” y “multas por infracciones a los dispositivos legales”, ya que el 35,29% de las comunidades cuenta con el procedimiento administrativo para otorgar los permisos de quema y el 29,41% de los entrevistados contesta que usan el índice IPIF para denunciar el uso no autorizado del fuego (Comunidades Asturias, Cantabria, Navarra, Valencia y Canarias).

Respecto a la pregunta ¿La población rural está conforme con los criterios empleados en las autorizaciones y prohibiciones de las actividades humanas (principalmente quemas) fuera de la época de peligro?, el 52,94% no

contesta la pregunta, un 23,53% afirma que la población rural sí esta de acuerdo y el otro 23,53% afirma lo contrario.

d) Posibilidades de usar otro índice de peligro meteorológico de incendios forestales

El 29,41% de la población evaluada contesta, que si usara otro índice de peligro meteorológico, los beneficios del sistema de prevención podrían ser mayores. Añaden, que los costos de aplicar un índice de peligro meteorológico de incendios forestales poco eficiente puede ser mucho más grande de lo supuesto, ya que el índice provee información que apoya las decisiones estratégicas, tácticas y legales de los programas de prevención y lucha contra los incendios forestales.

Respecto a la pregunta ¿En realidad, cree usted que el uso de algún índice de peligro meteorológico puede ayudar a prevenir la ocurrencia de incendios forestales? el 47,06% de la población evaluada afirma que el inicio de los incendios no será evitado porque esto depende de la actuación humana (salvo en el caso de los rayos), pero que un adecuado índice de peligro meteorológico puede regular la actuación humana y puede mitigar la propagación del fuego (permite tener los medios disponibles y en situación de intervención rápida) y sus consecuencias, a través de alertas.

Si se quiere activar instrumentos adecuados y eficaces en el sistema de prevención de incendios forestales, hay que considerar la posibilidad de divulgación de los índices de peligro meteorológico al gran público. Al respecto, el 35,29% de la población evaluada opina que si el índice es fiable éste debería ser divulgado, mientras el 35,29% opina que los índices de peligro meteorológico no deberían ser divulgados; sin embargo, ambas posiciones no fundamentan las ventajas y desventajas de sus líneas de pensamiento. Las Comunidades que difunden los valores del índice IPIF son Asturias (específicamente el IPIG), Navarra y Cataluña, a través de medios de comunicación masivos. A nivel de 31 países de Europa, seis, difunden los valores de los índices de peligro meteorológico, a través de la prensa radio y televisión (Mata Reis, 1998), situación que indica que las posibilidades de uso de esta técnica por el gran público aún no ha sido agotada en España ni en Europa.

Finalmente, es importante considerar que dado el elevado coste de la defensa contra los incendios forestales y la pérdida de recursos por acción del fuego es probable que en el futuro el Congreso español y la Comisión de la Unión Europea correspondiente, solicitaran un análisis de coste-beneficio del sistema de prevención de incendios forestales para otorgar el presupuesto del año fiscal correspondiente.

3 ESTADO DE LOS CONOCIMIENTOS

Los incendios forestales afectan al ecosistema mediterráneo desde hace millones de años (Clark y Robinson, 1993). Sin embargo, su ocurrencia era parte del equilibrio “natural”, ya que pueden haber estado presentes en la dinámica de la vegetación desde que la atmósfera fue capaz de sostener una combustión eficiente (Cope y Chaloner, 1980). Barton (1993) señala al fuego como un factor importante en la distribución de las especies; así mismo, Manry y Knigh, (1986) y Granström, (1993) han encontrado relación entre los incendios originados por rayos y la distribución de especies y ecosistemas, en ciertas regiones del mundo. Por otro lado, evidencias en el mantenimiento de determinados ecosistemas a partir de incendios originados por rayos se encuentran presentes en varias partes del mundo (Baisan y Swetnam,1990; Johnson, 1992), aunque son escasas en la Cuenca Mediterránea.

Con la aparición del hombre y el desarrollo de sus actividades, los incendios forestales constituyen una fuente de perturbación permanente. De hecho, el uso del fuego por el hombre en la Cuenca Mediterránea puede remontarse a miles de años atrás (Naveh, 1994; Henry,1994). Los incendios forestales originados por el hombre contemporáneo implican casi siempre graves pérdidas y daños materiales y ambientales (Miranda, 1998); sin embargo, hay que reconocer que el uso del fuego por el hombre ha desempeñado un papel fundamental en la distribución y el mantenimiento de determinados ecosistemas artificiales (agrícolas y ganaderos), y según Pyne et al.(1996), también naturales (bosques), al favorecer la regeneración y estado fitosanitario y con ello el mantenimiento y productividad de los mismos.

Countryman, citado por Pyne et al., (1996), afirma que el ambiente donde se desarrollan los incendios forestales está influenciado por la meteorología, el material combustible, la topografía, y la propia dinámica generada por el incendio; el cambio del

estado de estos factores y la interacción entre ellos determina las características del comportamiento de los incendios. Esta afirmación es válida para aquellos lugares donde el principal origen de los incendios es natural (rayos); sin embargo en países como España, hay que incluir separadamente “al hombre” en la lista de factores que influyen en el ambiente de los incendios forestales. Vázquez y Moreno (1993) y Fuentes et al. (1994) afirman que en los países de la Cuenca Mediterránea y también en otros lugares con clima mediterráneo, el hombre es, en la actualidad, el principal factor de la ocurrencia de los incendios forestales; así mismo, la DGCN (2002) indica que el 73% del número total de incendios ocurridos en la última década en España, obedece a causas intencionadas y negligencias. Estudios posteriores demuestran que los incendios de origen intencionado y de negligencias están muy relacionados con variables climáticas en tres zonas de la España peninsular (Vázquez, 1996), es decir que los pobladores locales y rurales no utilizan el fuego aleatoriamente, sino que lo hacen intencionadamente cuando las condiciones meteorológicas son las más apropiadas para que el fuego se pueda iniciar y propagar. Aunque también pueden ocasionar incendios en épocas y lugares con condiciones meteorológicas menos favorables, si ellos consideran que es una necesidad, pero esta situación es poco frecuente. Por ello se puede concluir que el inicio de los incendios forestales en España responde a factores humanos y meteorológicos.

Es importante conocer el papel de los factores que influyen en el ambiente de incendios forestales para ser capaces de predecir o al menos de estimar su variación en un periodo de tiempo dado. Las características sociales y económicas (factor humano) cambian en el tiempo y espacio lentamente; en tanto que, la condición meteorológica es el factor más variable en tiempo y en el espacio, y sus rápidos cambios no pueden ser controlados o modificados por el hombre, si bien pueden ser previstos; actualmente el material combustible varía de acuerdo a las actividades productivas del hombre, pero también puede ser sujeto de previsión; y por último, la topografía varía muy lentamente a lo largo de los procesos geológicos. Es necesario mencionar que las condiciones meteorológicas pueden dominar a los otros factores, imponiéndose al hombre, al material combustible y a la topografía. Por ejemplo, cuando un incendio es conducido por fuertes vientos, la influencia de la distribución del material combustible en el espacio y del contenido de humedad puede ser neutralizada; así mismo, un incendio de

copas puede expandirse a través de terrenos montañosos, sin cuidado de la topografía (Pyne et al., 1996).

Por ello, es necesario tener buena comprensión de las relaciones entre el clima, la meteorología y los incendios, desde el punto de vista espacial y temporal que permita cuantificar y predecir el riesgo y peligro de los incendios forestales. En la actualidad cualquier sistema avanzado de prevención y lucha contra incendios forestales debería contar con un ágil y fácil contacto con las Oficinas Meteorológicas y los centros operacionales de lucha contra incendios forestales, ya que el éxito de predecir el inicio y el comportamiento del fuego depende en gran medida de la habilidad de pronosticar el tiempo meteorológico. También depende de la observación, la interpretación y la habilidad para reconocer modelos e interacciones del fenómeno de los incendios forestales. En este sentido las oficinas meteorológicas pueden proveer datos meteorológicos anteriores, datos en tiempo real y predicciones para las próximas horas o días de diferentes estaciones meteorológicas.

3.1 Meteorología e incendios forestales

Para tener un adecuado entendimiento de las relaciones entre el clima, la meteorología y la ocurrencia de incendios forestales, en primer lugar se definen los conceptos “clima” y “meteorología,” o “tiempo meteorológico”. Según la Organización Meteorológica Mundial (1966), el clima es la distribución de probabilidades del tiempo meteorológico, es decir, que está determinado por los parámetros o elementos meteorológicos medios que son encontrados en una región dada. Los elementos meteorológicos son caracterizados por “medias climáticas” de 30 años, de manera que el clima esta definido por las medias climáticas de todos los elementos meteorológicos; sin embargo, éstos pueden ser afectados por la altitud, la latitud, la proximidad al mar, por la vegetación y también por la actividad humana (efecto invernadero y cambio climático). Mientras, la meteorología es el estado de la atmósfera y el cambio de la naturaleza de la atmósfera circundante a la tierra. La meteorología está determinada por las condiciones del tiempo que pueden cambiar día a día debido a un amplio conjunto de factores. Es conveniente reconocer a la radiación solar como la fuente de energía responsable de la mayoría de estos cambios, es decir, de los fenómenos meteorológicos (físicos) y fisiológicos de los ecosistemas terrestres y acuáticos; el otro factor es la

rotación de la tierra. Como la intensidad de la radiación solar es máxima en el punto en que los rayos inciden verticalmente sobre la atmósfera, es responsable de la temperatura del suelo y del aire, originando gradientes de presión principalmente horizontal, por lo tanto, es la causa de la formación y circulación de las masas de aire que dará origen a los vientos, inducidos por la no uniformidad del calor de los cuerpos de aire (Barros, 2001). A su vez, el Instituto de Meteorología de Portugal (2001) indica que las condiciones meteorológicas son afectadas significativamente por la superficie de la tierra hasta aproximadamente 1,5 km. de altura sobre el suelo.

Otro aspecto importante a considerar en la gestión de los incendios forestales relacionados con la meteorología es la escala de espacio y de tiempo de los fenómenos meteorológicos. Se consideran fenómenos meteorológicos de escala global los que ocurren a una escala del orden de los 5.000 km. en la superficie terrestre y cuya duración oscila entre semanas a meses, en promedio; algunos ejemplos de éste fenómeno son: la circulación del aire alrededor del globo terrestre y el fenómeno “El Niño” (Meteorología Paraná, 2003). Los fenómenos meteorológicos de escala sinóptica, también conocidos como “fenómenos meteorológicos de macroescala”, son aquellos que ocurren a una escala de los 2.000 km., pueden durar días a semanas, en promedio, y tienen importancia en las características climáticas y estacionales del planeta (Meteorología Paraná, 2003). El movimiento de masas particulares de aire, anticiclones, ciclones, frentes de aire, huracanes y tempestades tropicales, son ejemplos típicos de esta escala (Barros y Mata Reis, 2001). El pronóstico del tiempo se basa en la predicción del movimiento de estas grandes estructuras. En el presente los pronósticos meteorológicos hasta un plazo de 4-7 días son bastante fiables; la predicción es particularmente precisa para un periodo de uno a dos días (Viegas, 2003). Cuando los fenómenos ocurren a una escala de 10-100 km. y duran en promedio minutos, horas o días, se considera fenómenos de mesoescala. Ejemplos de estos fenómenos son las brisas marítima, terrestre y las de valle, los vientos locales, tornados, líneas de inestabilidad de calor y tempestades aisladas. Por otra parte, los pequeños remolinos y las diferencias locales de calor y frío que se producen a una escala de pocos metros (Barros, 2001), la formación del arco iris, y las interacciones suelo-planta-agua, son considerados fenómenos de microescala; para otros investigadores estos fenómenos pueden producirse a una escala de hasta 1 km. y pueden durar desde segundos hasta una hora.

El clima es el principal regulador de la productividad primaria y del tipo de vegetación (Woodward, 1987), de forma que, para cada región las condiciones climáticas dominantes asociadas a las diferentes fases fisiológicas y fenológicas de la vegetación (Mérida, 2000) determinan el tipo de combustible, su distribución, las tasas de acumulación de la biomasa (Olson (1981) y Rundel (1981)), la distribución de las capas de materia orgánica más compactadas y los periodos de tiempo más favorables para la ocurrencia de incendios forestales. En el corto plazo, y en el caso concreto de las regiones con regímenes climáticos caracterizados por la existencia de una larga estación seca con temperaturas elevadas, fuertes tasas de evaporación y baja humedad relativa, es posible definir una “estación de incendios” muy marcada, en la que la vegetación muerta y, en alguna medida también la viva, alcanzan niveles de inflamabilidad muy elevados (Mestre, 2003a). En el largo plazo, se ha visto que los cambios en el clima asociados con el fenómeno “El Niño”, por ejemplo, afectan al régimen de incendios de determinadas áreas (Swetnam y Betancourt (1990) y Brenner, (1991)).

Por otra parte, la meteorología de cada momento ejerce una influencia decisiva en la probabilidad de que ocurran incendios, y en la propagación del fuego una vez iniciado. El tiempo meteorológico responsable del inicio de los incendios forestales, actúa a través del combustible vegetal fino muerto. Los combustibles ligeros muertos, se definen como aquellos vegetales que están directamente relacionados con la ignición y propagación, es decir, ramas pequeñas, hojas y humus (Viegas, et al, 1992). Así una baja humedad relativa y una elevada temperatura del aire determinan la pérdida de la humedad del material fino muerto. Así mismo, cuanto menor es el tamaño de estas partículas y mayor su descomposición, el tiempo que tardan en alcanzar la humedad de equilibrio es menor (Guijarro, 1999); esta medida de tiempo es técnicamente conocida como tiempo de retardo o de respuesta. El tiempo en que el combustible fino muerto alcanza la humedad de equilibrio depende de la relación superficie/volumen, del coeficiente de compactación y del espesor de la capa de combustible muerto. Algunos ejemplos del tiempo de respuesta son: en herbáceas entre 2-4 horas, en acículas descompuestas entre 2-14 horas, y acículas no alteradas entre 5-34 horas (Guijarro, 1999). Así mismo, la condición meteorológica afecta al combustible vegetal vivo y a

las reservas hídricas almacenadas en el suelo, de manera que se produce un descenso de la tasa de transpiración del combustible vegetal vivo, si el suelo está seco (Mestre, 2003), lo cual contribuye a que la planta se seque más rápidamente.

Aunque el tiempo meteorológico de los incendios o “clima de incendios” no puede ser descrito considerando los elementos meteorológicos individualmente, ya que el potencial del incendio responde al efecto combinado de todos los que intervienen en él, y que el clima del incendio es un fenómeno que va más allá de los promedios a continuación se analizan en detalle los elementos y fenómenos meteorológicos de microescala y mesoescala que tienen influencia decisiva en el inicio y propagación de los incendios forestales, y son por lo tanto, relevantes para la gestión de los incendios forestales.

3.1.1 Elementos meteorológicos que facilitan el inicio de los incendios forestales

El contenido de humedad del combustible vegetal fino muerto está relacionado con la combustión y la inflamación del mismo al caer sobre él una brasa o pavesa, un rayo u otra fuente de ignición. La precipitación, la humedad relativa y la temperatura son elementos que influyen directamente en la humedad del combustible vegetal vivo y muerto. Estos elementos toman horas, días o aún semanas para interactuar con la vegetación y predisponerlos a la ignición e inflamación dependiendo del tamaño de los combustibles. Como estos elementos actúan relativamente despacio, es suficiente caracterizarlos sobre una base diaria. Es conveniente considerar el promedio diario y el valor extremo o total de los parámetros correspondientes. Por conveniencia es común considerar el valor diario de algunos elementos a las 12:00 o a las 13:00 horas, ya que estos son representativos de la condición extrema diaria y están disponibles en la mayoría de estaciones meteorológicas.

Por otra parte, Viney y Haton, (1989) y Burgan (1987) afirman que los elementos meteorológicos nombrados anteriormente, también afectan a la propagación del incendio.



Figura 1. Elementos meteorológicos que facilitan el inicio de los incendios forestales

La precipitación

Generalmente presente en forma de lluvia, es uno de los elementos meteorológicos (así como la temperatura) que condiciona el menor o mayor desarrollo de la vegetación terrestre, y por lo tanto, la cantidad de material combustible, lo cual contribuye a aumentar el riesgo de ocurrencia de los incendios forestales. La precipitación influye inmediatamente sobre la humedad del combustible fino muerto, sobre la humedad relativa del aire, y días después, en el combustible vivo. Al incorporarse al agua del suelo; la precipitación se incorpora a los tejidos vivos de las plantas y permite el nacimiento y crecimiento de la vegetación herbácea y arbustiva (combustibles ligeros) y, en menor medida y a más largo plazo el de la vegetación arbórea. La precipitación es causada por una compleja combinación de procesos termodinámicos, de la dinámica de la atmósfera, de la física de las nubes y está muy influida por la orografía. Por ello, sobre todo en precipitaciones tormentosas, la precipitación se suele distribuir sobre el territorio de forma muy desigual y las condiciones de peligro de incendios pueden cambiar de un lugar a otro, aún en cortas distancias. Así la precipitación tiene efecto en la ocurrencia y dispersión de los incendios a corto y largo plazo (Viegas, 1998).

Algunos estudios ponen en evidencia el efecto de la precipitación sobre la variación diaria, estacional y a largo plazo del contenido de humedad de diferentes tipos de combustibles vegetales vivos y muertos, y su relación con la ocurrencia de incendios forestales. El efecto diario de la precipitación sobre el contenido de humedad de los combustibles ligeros muertos es muy transitorio en condiciones de fuerte evaporación como los que prevalecen a lo largo de los periodos estivales de las zonas con clima tipo mediterráneo (Mestre, 2003). Es bien conocido que aún una pequeña cantidad de precipitación puede modificar drásticamente la probabilidad de ignición y la combustibilidad de la vegetación; en general se considera que la precipitación debe exceder 2 mm para tener algún efecto (Van Wagner, 1987). Sobre la variación estacional de la precipitación, Viegas et al. (1992) y Viegas y Viegas (1994) han indicado una marcada diferencia entre la humedad del combustible ligero vivo y muerto de árboles y arbustos. Así de 10 especies estudiadas cada una tuvo una variación estacional diferente de un año a otro, de acuerdo al régimen de precipitación generalmente. Sin embargo, en los meses secos, particularmente de junio a setiembre, se produjo una gran reducción en el promedio del contenido de humedad de las especies estudiadas; hecho que fue muy evidente en las acículas muertas de *Pinus pinaster*, las

cuales mostraron una consistente asociación con las grandes superficies quemadas en la región central de Portugal. Otro aspecto importante de la variación estacional de la precipitación y el contenido de humedad de los combustibles, es indicado por Valette et al. (1994) quienes afirman que los incendios forestales más catastróficos para la Región Mediterránea de Francia en los últimos 20 años ocurrieron cuando la reserva de agua del suelo era menor de 30 mm, asociados a vientos muy violentos (mayores de 40 km./h); así mismo, indican que los incendios más virulentos ocurrieron cuando la reserva de humedad del suelo era menor de 50 mm.

Finalmente, es importante analizar el comportamiento de la precipitación a largo plazo, a fin de determinar los ciclos de sequía y relacionarlo con los incendios forestales. Cantos y Rico (1994) estudiaron las sequías en el Sureste Ibérico y encontraron que a partir de 1980 se produjo una reducción significativa en el volumen de precipitación, lo cual provocó una secuencia de agudas sequías en los periodos: 1978-1984 y 1992-1994. Peral et al. (2000), analizaron las repercusiones económicas de la sequía de 1991-1995 en el sur de España y determinaron que el área de bosques afectada más severamente por los incendios se incrementó en un 63% por ciento, en comparación con la década previa.

La Humedad Relativa

Como se sabe, la humedad relativa es la proporción de vapor de agua de una masa de aire sobre el máximo que podría contener en la atmósfera a una temperatura dada y se caracteriza por ser un elemento de marcada variabilidad temporal y espacial. La humedad relativa (así como la temperatura) cambia normalmente durante el día, debido al efecto de la radiación solar; alcanza los valores máximos en las horas de oscuridad y los mínimos después del mediodía, comportamiento opuesto a la temperatura. También puede cambiar debido al transporte convectivo de las masas de aire con diferentes valores de temperatura y humedad. Si la humedad relativa es de 100% se dice que el aire está saturado, ya que no puede contener más vapor de agua. Cuando la humedad relativa es menor a 30% se dice que el aire es seco (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología, 2002), en esta condición se genera situaciones muy favorables para el inicio y propagación del fuego.

La humedad relativa del aire influye en los incendios forestales, a través de la humedad del combustible vegetal vivo y muerto. Los combustibles vegetales muertos son sumamente sensibles a la humedad relativa, ya que absorben o ceden humedad a la atmósfera que les rodea en función del grado de saturación de ésta (naturaleza higroscópica), de modo que la inflamabilidad de los tejidos, está influenciada por el grado de humedad de los mismos (Pyne et al., 1996). Así, cuanto menor es el contenido de humedad del combustible, tanto menor es el requerimiento de energía calórica externa para eliminar el agua que contiene y por lo tanto producir la ignición de los tejidos vegetales (Elvira y Hernando, 1989). El segundo factor se refiere, a que cuando un lugar tiene menor humedad relativa, hay mayor proporción de oxígeno en el ambiente, situación que favorece el proceso de ignición.

Numerosos estudios fuera de Europa se han realizado para analizar las relaciones entre la humedad relativa, el contenido de humedad del combustible vegetal vivo y muerto y la ocurrencia de incendios forestales. Ejemplos de estos constituyen los trabajos de Johnson (1966), Simard (1968), Loomis y Main (1980), Chrosciewicz (1986), Burgan (1987), Viney y Hatton (1989), Hartford y Rothermel (1991); mientras, Vega y Casal (1986), Viegas et al. (1992), Cocero et al. (1998), Viegas et al., (2001a) Ruiz et al; (2002) y Verbesselt et al., (2002) que han estudiado esta relación para algunas especies forestales de los ecosistemas mediterráneos.

La temperatura del aire

La temperatura del aire es una consecuencia de la radiación solar sobre las capas de la atmósfera cercanas a la superficie terrestre y depende también de la masa de aire (caliente o frío) que está presente en un lugar dado.

La temperatura varía en el espacio (latitud, altitud y de acuerdo a la orientación de las laderas) y en el tiempo. La variación latitudinal de la temperatura está asociada a la precipitación. Ambas condicionan el menor o mayor desarrollo horizontal de la vegetación terrestre, y por lo tanto, la distribución y la cantidad de material combustible que contribuye a aumentar el riesgo de ocurrencia de los incendios forestales. Así mismo, la variación en altitud condiciona el menor o mayor desarrollo del material combustible, ya que de forma general la temperatura disminuye 6,5 °C por cada 1.000 metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m.), situación que conduce a un aumento de la

humedad relativa (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología, 2002), pero a una disminución de la diversidad florística del lugar. No obstante, puede suceder que en determinadas situaciones meteorológicas la temperatura aumente con la altitud, por el fenómeno de inversión térmica generalmente asociada a la presencia de sistemas montañosos. La inversión térmica es una capa de aire muy estable donde la temperatura aumenta con el aumento de altitud. La banda caliente se denomina cinturón térmico, se suele formar en la tarde noche, y se sitúa a dos tercios del fondo del valle. EINFOR (2001) menciona que los incendios de la tarde noche que se producen en las capas de inversión térmica se caracterizan porque encima del cinturón térmico arden igual que en el día, en función de la humedad y temperatura del aire; los fuegos en el cinturón térmico arden con más violencia ya que la temperatura es mayor y la humedad relativa es menor, y los incendios debajo del cinturón se comportan de forma lenta y con escasa intensidad. De modo general los flujos de aire ascendentes o descendentes deben tenerse muy en cuenta porque pueden cambiar la intensidad e incluso el sentido de la propagación, aunque el incendio siempre tenga la tendencia de ir hacia arriba. Pyne et al. (1996) mencionan los siguientes tipos de inversión térmica: por radiación de subsidencia (descenso acelerado del aire muy cálido y seco) y marina. Estos tipos de inversión, serán tratados más ampliamente cuando se analice los vientos locales, dado que este elemento influye en la formación del cinturón térmico. Respecto a la orientación de las laderas, las laderas de solana tienen temperatura mayores y por lo tanto la vegetación será más seca que en la de umbría, según EINFOR (2001).

Por otra parte, la variación temporal de la temperatura implica cambios diarios y anuales lo cual a su vez influye en los requerimientos de la energía calórica externa necesaria para el inicio de la ignición, ya que inciden en la temperatura interna de los tejidos vegetales (Mérida 2000); por ejemplo para las partículas sobre o cerca del suelo expuesto a radiación directa pueden alcanzar temperaturas del orden de 60°C, mientras la temperatura del aire a 1,5 metros sobre el nivel del suelo puede ser del orden de 25°C (Viegas, 2003). Respecto a la variación diaria, el calentamiento máximo de la tierra se alcanza dos horas después del cenit (entre las 13:00 y 14:00 horas), por ello, las horas de la tarde son las de mayor probabilidad de incendios, un ejemplo de esta afirmación es observada en España en el año 2000, ya que del total de incendios ocurridos (23.573) el 78,41% de ellos ocurrieron a partir de las 13:00 horas (DGCN, 2000). El mínimo calentamiento se alcanza en la madrugada, periodo en el que se podría realizar quemas

controladas, es decir, un poco antes de la salida del sol. Un efecto similar ocurre a lo largo del año, produciéndose las estaciones. La temperatura alcanza valores máximos en la época estival, cuando la radiación solar incide con un mayor ángulo sobre la superficie terrestre y alcanza los valores mínimos en la época de invierno. Además la longitud del día cambia, adelantándose los máximos y mínimos de iluminación de mes a mes y medio con respecto a las temperaturas máximas y mínimas respectivamente (Mérida, 2000). De manera que en la Región Mediterránea, caracterizada por veranos muy secos y calientes, la estación de incendios forestales coincide generalmente con el verano.

El rayo

Es un fenómeno meteorológico que puede ser la causa directa del origen de un incendio forestal siempre que dure lo suficiente y el contenido de humedad de los posibles combustibles sea suficientemente bajo para que perdure la combustión. Según Fuquay et al. citado por Pyne et al. (1996), pocos de los rayos que hacen tierra son apropiados para la ignición porque no poseen una corriente continua larga.

El rayo es una chispa eléctrica que salta entre dos polos opuestos en los que existe una elevada diferencia de potencial, cuya fuente de calor estimada puede ser aproximadamente 30.000°C (OMM, 1968). Durante la fase de formación de una tormenta, las partículas de agua, nieve y hielo rozan entre ellas y se van cargando eléctricamente, de forma que la nube queda cargada positivamente en su zona más alta y negativamente en su contorno. En la fase de maduración de la tormenta, el flujo descendente del aire arrastra hacia la base de la nube cargas positivas y se produce el rayo. Las descargas que llegan a la tierra han sido clasificadas como rayos positivos y negativos de acuerdo a las cargas que son efectivamente movidas de la nube a la tierra. La corriente continua puede durar 0,5 segundos; el valor medio es cerca de 0,125 segundos. Cerca del 20% de las descargas negativas y 95% de las descargas positivas tienen estas características. Además, según Mérida (2000), los incendios pueden manifestarse muchas horas o incluso días después de producirse la descarga debido a una lenta combustión y que afloran cuando las condiciones ambientales facilitan su propagación.

En el Sistema Ibérico las tormentas en tiempo caluroso y seco son frecuentes y en muchas ocasiones estas son responsables del origen de grandes incendios forestales. Ello es debido a que más del 80% de las tormentas anuales (24), en promedio, se concentran en los meses de junio a septiembre (Mestre, 2003). Generalmente se forman por la tarde y se caracterizan por tener un gran aparato eléctrico, pero escasa precipitación (tormentas secas). En estas condiciones, los rayos pueden caer a últimas horas del día y por la noche. Las condiciones de difícil acceso, oscuridad y fuertes vientos dificultan el movimiento de medios para realizar un ataque inicial. La Comunidad que más padece el problema de las descargas eléctricas, es Aragón siguiéndole en importancia Castilla La Mancha, Cataluña, la Comunidad Valenciana (Instituto Nacional de Meteorología, 1996) y Murcia (CLIF, 1977).

En España el porcentaje del número de incendios ocasionados por rayos en la década de los 90 alcanzó el 3,8 % (DGCN, 2002); mientras que en países con extensas zonas boscosas y poco habitadas, como Canadá y Estados Unidos, el porcentaje de incendios ocasionados por la caída de rayos alcanza valores cercanos al 50% (Mestre, 2003). Vázquez (1996) y Vázquez y Moreno (1998) estudiaron los incendios originados por rayos y por el hombre para una serie de 20 años en España y encontró que los incendios originados por rayos fueron del orden de 0,12 incendios en 10.000 ha/año, es decir, que esta causa fue poco frecuente. Sin embargo, cuando se consideró la superficie afectada, ésta alcanzó las 7,5 ha en 10.000 ha/año, superficie mayor que en otras áreas de clima mediterráneo como California (4,7 ha en 10.000 ha/año). Esta tendencia se mantiene a través del tiempo ya que en 1994, año en que se produjo en España una gran oleada de incendios, que afectaron a la Vertiente Mediterránea durante los primeros días del mes de Julio, los incendios originados por rayos representaron sólo el 2,7% del total, pero quemaron el 27,7% de la superficie arbolada total anual, de acuerdo a la DGCN, citado por Mestre (2003).

3.1.2 Elementos meteorológicos que facilitan la propagación de los incendios forestales

Está compuesto por aquellos elementos que afectan el aporte de oxígeno a la combustión y a los procesos de transmisión de energía: como la velocidad del viento, la dirección del viento y la inestabilidad atmosférica. Estos elementos pueden cambiar

rápidamente, por lo que es necesario seguir sus cambios hora a hora o aún en periodos más cortos, si es posible. La velocidad del viento, los cambios de la humedad relativa asociada al viento y la dirección del viento son responsables de la propagación del incendio. La inestabilidad atmosférica y los cambios de la dirección del viento son elementos claves en la ocurrencia de los grandes incendios.

El viento

Es el movimiento horizontal del aire relativo a la superficie terrestre que se desplaza para compensar las diferencias de presión. Es probablemente el elemento más difícil de predecir, dado su carácter vectorial y su gran variabilidad espacial y temporal, aún en cortos intervalos de tiempo. Para caracterizar el viento, necesitamos precisar su intensidad (velocidad) y su dirección, ubicación, tiempo de medición y la altura a la que ha sido medido, ya que varía con todos esos parámetros. De forma general el viento aumenta con la altitud, y está influenciado por la pendiente del terreno y la estabilidad atmosférica. La configuración del terreno afecta al comportamiento del viento y el flujo ascendente producido por un incendio contribuye a crear situaciones muy peligrosas. El viento y la topografía juegan un papel muy importante en la propagación de los incendios superficiales y en su transición de incendios superficiales a incendios de copas (Viegas, 1997).

Schroeder y Buck (1970) afirman que el viento puede contribuir a los siguientes efectos:

- a) Desecación del combustible vegetal al acelerar la transpiración de las plantas por descenso de la humedad relativa del aire
- b) Incremento de la intensidad de reacción al añadir mayores cantidades de oxígeno, al proceso de la combustión
- c) Inclinación de la llama, lo que provoca mayor eficacia en los procesos de transmisión de energía por radiación al incidir esta de forma más perpendicular sobre el combustible adyacente
- d) Incremento ladera arriba de la eficacia de transmisión de energía por convección, aumentando su dinamismo. Este efecto es más acusado cuanto mayor es la pendiente de la ladera por la que asciende el fuego
- e) Mayor alcance de los materiales incandescentes, pavesas, que ascienden por

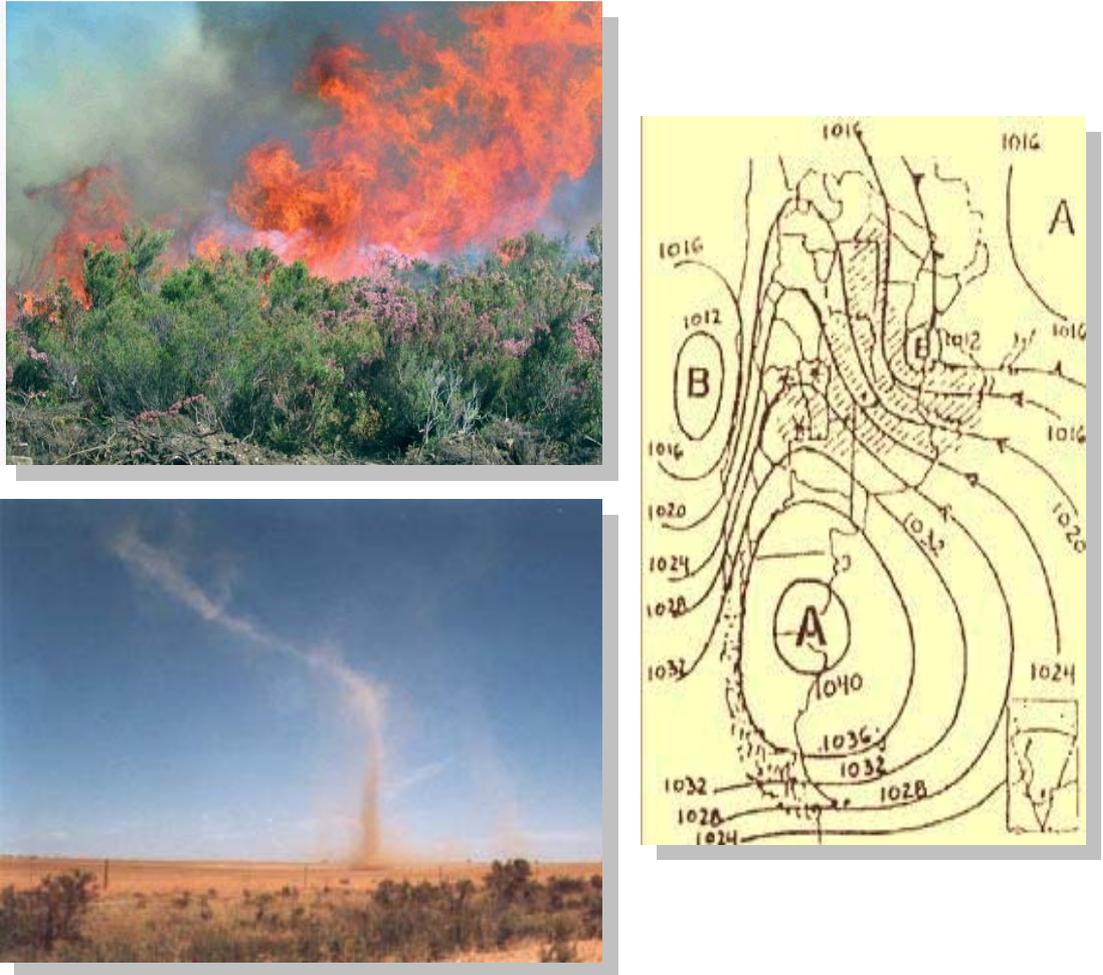


Figura 2. El viento, principal elemento meteorológicos que facilita la propagación de los incendios forestales

el vértice de la columna de convección y que pueden ser origen de focos secundarios

La caracterización del viento implica también un análisis a dos escalas: general y local ya que en muchos lugares, los vientos generales están bloqueados por la altura de las montañas, y los vientos locales son los que predominan diariamente (Pyne et al., 1996).

Los vientos generales responden a la circulación atmosférica general de las masas de aire; este tipo de viento se puede predecir con bastante precisión por modelos meteorológicos (Lopes, et al., 2002). Los vientos generales soplan en la atmósfera

superior, y no son afectados por la orografía, la cubierta vegetal, tipo de suelo, proximidades de superficies acuáticas e incendios forestales (Barros, 2001); ejemplos de vientos generales para Europa son el Artico, el Polar marítimo, el Polar continental, el Polar marítimo de retorno, el Tropical marítimo y el Tropical continental. Barros (2001) informa que el viento general Tropical marítimo y el Tropical continental están relacionados con la ocurrencia de incendios forestales. El viento Tropical marítimo es un viento caliente, húmedo, estable, que está presente en todas las épocas del año y proviene del Anticiclón de las Azores. Entre junio y setiembre, se localiza al Noreste de ese archipiélago produciendo una circulación alrededor de la Península Ibérica con dirección Noroeste en el Norte a Suroeste en la costa sur; en esta situación las regiones del litoral peninsular reciben la acción de la brisa marítima, con un consecuente aumento de la humedad del aire y un descenso de la temperatura. En la región interior las temperaturas son elevadas, más el viento general es débil, en tanto existen vientos locales originados por las diferencias térmicas debidas a la topografía y a la cubierta del suelo. En esta situación de verano ocurre la deflagración de numerosos incendios forestales, que son en general de pequeñas proporciones. El viento Tropical Continental, es un viento caliente, seco, estable, que actúa sobre todo en verano y proviene del Sahara. Su efecto es más serio cuando se produce la interrupción de la circulación del viento Tropical marítimo, por el flujo intenso de una masa de aire muy seca y caliente que penetra (fenómeno de advección) a las regiones costeras, provocando que la temperatura máxima aumente considerablemente. La intensidad de este flujo es suficiente para neutralizar la brisa marina y para reforzar la débil brisa terrestre nocturna, que asociado a periodos sin precipitación es responsable de muchos incendios de grandes proporciones que ocurren durante la noche en el verano de Portugal (Barros y Mata Reis, 2001). Así mismo, Ramos y Ventura, citados por Miranda (1998) identificaron para el verano de Portugal los tipos de circulación atmosférica que propician la ocurrencia de incendios forestales: el Anticiclón de las Azores (Subtropical), prolongado para Europa, la Depresión Térmica Sahariana, prolongada para la Península Ibérica, y los ciclones de origen dinámico o mixto. Los autores afirman que este tipo de circulación es responsable del 93% de los días propicios para los incendios y corresponde generalmente a varias fases de una secuencia en la circulación atmosférica que se inicia con los Anticiclones de las Azores. Mientras Ramos y Ventura (1992) encontraron que la Depresión Térmica Sahariana

prolongada para la Península Ibérica es responsable del 34% de los grandes incendios ocurridos en Portugal (50) durante 1987 a 1989.

Según el Instituto de Meteorología de Portugal (2001), los vientos locales, también llamados convectivos (ascendentes), brisas, y vientos termales, son causados por las diferencias de temperatura de la superficie de la tierra (cuerpos de agua, brisas marinas o de montaña), y por la gravedad, (incluyendo vientos descendentes por efecto de la orografía, fenómeno de subsidencia). Este tipo de circulación tiene dimensiones relativamente pequeñas, desde cientos de metros a algunas decenas de kilómetros. Pueden ser muy difíciles de predecir por algunos modelos, pero son bastante predecibles conociendo el patrón de vientos de un sitio en particular. Los vientos locales más comunes que afectan de manera directa a los incendios forestales son los vientos orográficos, los vientos producidos por la inversión térmica, las brisas, el viento Foehn, las olas de montaña, y los torbellinos.

Los vientos orográficos son de ladera y de valle, los cuales además pueden ser ascendentes de día y descendentes de noche respectivamente. Los vientos de ladera ascendente se producen durante el día con cielo limpio, las laderas inclinadas hacia el sol se comienzan a calentar, así como la capa de aire en contacto con esta misma superficie, de manera que las masas de aire caliente se dilatan, se hacen menos densas, creándose una circulación de viento ladera arriba y paralelo a la superficie de la pendiente. Puede durar desde el mediodía hasta la puesta del sol, o hasta que la ladera se quede en la sombra. La velocidad desarrollada en este tipo de viento alcanza los 6 a 12 km./h. Cuando llega la noche se produce el viento de ladera descendente, ya que el suelo de la ladera se enfría, provocando el enfriamiento de las moléculas de aire próximas a él. Al enfriarse estas moléculas adquieren mayor densidad y por efecto de la gravedad se produce un descenso del aire frío. Dura desde las primeras horas de la noche hasta las 4 ó 5 de la madrugada y el viento alcanza velocidades que van de 5 a 10 km./h.

Los efectos de los vientos de valle son más importantes que los de una ladera aislada, ya que presentan una superficie de un 20 a 30% mayores que una superficie plana, dependiendo de lo cerrado del valle, donde el viento tiende a fluir hacia arriba como un río de aire, tomando todas las desviaciones de los valles secundarios, que lo alimentan como un río principal. Estos vientos se producen entre dos laderas

enfrentadas y unidas por la base; el fundamento del movimiento del aire es idéntico que en los vientos de ladera. Los vientos de valle ascendente empiezan desde el mediodía hasta la puesta del sol, o cuando la sombra ha penetrado las dos laderas. Puede alcanzar la máxima actividad hacia las 15 horas (16 a 30 km./h). Los vientos descendentes de valle se producen desde las primeras horas de la noche hasta poco antes de la madrugada y pueden alcanzar velocidades entre 5 a 12 km./h. Presenta una capa estrecha en la parte alta del valle, ensanchándose progresivamente a medida que descienda sobre el fondo del valle.

Los vientos locales producidos por la inversión térmica pueden ser de varios tipos. La inversión térmica por radiación hace que por la noche el aire en contacto con la superficie de la tierra sea enfriado, produciendo una masa de aire fría y pesada debajo de una masa de aire caliente, creando una situación de estabilidad atmosférica. Después de la salida del sol con cielos limpios y vientos débiles la inversión se disipa, desarrollándose una situación inestable, de manera que el viento y la temperatura pueden incrementarse súbitamente, y la humedad relativa disminuir, determinando un rápido aumento de la actividad del incendio, cuando este se produce en esta circunstancia. La inversión térmica por radiación ocurre normalmente por la noche y es el tipo más común. La inversión térmica de subsidencia (descenso acelerado del aire muy cálido y seco) está asociada a los anticiclones en la atmósfera superior; ocurre cuando la masa de aire absorbida por el sistema de alta presión sufre una compresión adiabática (no existen cambios de calor con el medio ambiente), y al descender a altitudes más bajas origina un aire caliente y seco que se vuelve progresivamente más frío y más seco cerca de la superficie terrestre. Este tipo de inversión es un proceso lento que ocurre en un periodo de varios días. Finalmente, la inversión térmica marina es comúnmente encontrada a lo largo de la costa. En este caso el aire frío y húmedo del océano se distribuye sobre las tierras bajas y extendidas. Esta capa es tapada por una capa de aire relativamente inestable, caliente y seco. Las brisas se originan debido a la diferencia de temperatura entre la tierra y el mar, dando lugar a altas y bajas presiones. Pueden ser brisas marinas (diurna) y brisas terrestres (nocturna). La brisa marina se origina debido a que el aire sobre la tierra se calienta más rápidamente que el aire sobre el mar, dando lugar a que el viento sople del mar a la tierra. Esta brisa se inicia a media mañana y finaliza a últimas horas de la tarde con una velocidad de 5 a 10 km./h. Su espesor puede ser de 400 a 1.000 m. En costas muy planas puede penetrar hasta 50 km.

en la tierra; en Portugal durante el verano por ejemplo, las brisas marinas del litoral Oeste se pueden extender de 30 a 50 km. a el nivel horizontal y cerca de 2 km. a nivel vertical. La intensidad de estas brisas disminuye con la altitud, cambian de dirección, aumentando nuevamente de intensidad (Barros y Mata Reis, 2001). Mientras la brisa terrestre ocurre a la caída del sol porque la tierra comienza a enfriarse más rápido que el mar, produciéndose en éste un centro de baja presión relativa y por lo tanto el movimiento del aire es de la tierra al mar. Se inicia dos o tres horas después de la puesta del sol y termina bruscamente después del amanecer. El viento producido es de mucho menor espesor (500 m) adentrándose en el mar unos 10 km. aproximadamente (EINFOR, 2001).

Un tipo de vientos particularmente peligroso para los incendios forestales es el Foehn; se produce cuando una masa de aire húmedo, procedente de un núcleo de alta presión situado a un lado de una cordillera, se desplaza a una zona de baja presión, para ello la masa de aire húmedo y estable comenzará a ascender; al subir de cota descende su temperatura, con lo cual el vapor de agua se condensa y es descargado en forma de precipitación. Una vez superado el obstáculo, la masa de aire comienza a descender sufriendo una compresión adiabática, con lo cual la gravedad, el efecto aerodinámico y el flujo de alta a baja presión producen el descenso del aire muy caliente y seco a gran velocidad llegando a alcanzar hasta 145 km./h y una humedad de hasta 4%. Este viento puede durar horas o aún días, es también muy turbulento con cambios bruscos de velocidad que hacen que el incendio sea incontrolable, si se produce cuando sopla y que las operaciones de lucha sean de máximo peligro. Este tipo de viento es conocido en todas las regiones del mundo, asignándoles nombres característicos. En España los vientos locales Foehn más importantes son:

- a) El levante: Tiene el efecto Foehn en la zona del golfo de Cádiz, donde se le conoce con el nombre de “matacabras”. Puede soplar hasta cinco y siete días consecutivos con rachas del orden de 60 a 80 km./h. Las causas orográficas de este viento están provocadas por la Sierra Nevada y la cordillera del Atlas, que fuerzan el flujo de aire entre ellas y lo canalizan por el Estrecho de Gibraltar, de modo que en la costa da bastantes nubes, viento persistente y algo húmedo y racheado que sopla en el Estrecho de Gibraltar, Mar de Alborán y Murcia (Font, 2000)

- b) El poniente: Viento húmedo y templado del Oeste que entra por las costas portuguesas y arrastra las borrascas atlánticas, con sus sistemas nubosos, hacia el interior de la Península.
- c) El terral: Sopla del Norte (Málaga)
- d) El Noreste: Sopla en Galicia
- e) La tramontana: Viento frío y turbulento de componente Norte, que sopla en la comarca del Ampurdán (nordeste de Cataluña), valle del Ródano y en la isla de Menorca
- f) El cierzo: Viento frío y seco que sopla del Noroeste en el valle del Ebro

Los vientos locales denominados ondas de montaña se producen cuando un viento muy fuerte, aumenta con la altitud e incide más o menos perpendicularmente en el eje de una cadena montañosa, sin perder su estabilidad, y puede originar en la zona opuesta un frente de ondas que sigue desplazándose con la masa de aire, pero si los senos de éstas llegan a tocar el suelo puede desarrollarse una circulación con sentido contrario a la corriente general, produciéndose un viento caliente y muy seco (subsistencia) con particularidades semejantes al viento Foehn pero más atenuadas. Un indicador práctico de la presencia de los vientos “ondas de montaña” es la presencia de unas nubes denominadas altocúmulos lenticulares sobre las crestas de la cadena montañosa.

Los torbellinos son vientos locales que pueden tener un eje horizontal y vertical. El torbellino de eje horizontal se produce cuando un viento muy fuerte varía mucho con la altura de los árboles, la altitud de una montaña, etc. De manera que en la zona opuesta se produce un giro semejante a un enorme rodillo horizontal con la capa de aire que queda entre el obstáculo y la corriente general. El torbellino de eje vertical se da cuando en una atmósfera inestable existe una zona mucho más caliente, que genera una corriente ascendente brusca; estos son más o menos estacionarios y duran poco tiempo. El sentido de giro puede ser cualquiera, alcanzar una altura de 3 a 1.300 m, un diámetro entre 3 y 30 m y la velocidad tangencial suele ser desde 30 hasta 80 km./h. Si se produce en una zona del incendio, da lugar a un remolino de fuego, de enorme violencia y con temperaturas extremadamente altas debido al intenso aporte de oxígeno y gases combustibles. De igual manera puede provocar una reactivación del incendio, si se produce sobre una zona quemada aún caliente y con brasas encendidas.

Los grandes incendios, con gran cantidad de combustible, son capaces de generar grandes intensidades de reacción y pueden crear condiciones de inestabilidad en el entorno próximo, favoreciendo condiciones para que el comportamiento se torne más violento y errático. De manera que pueden generar vientos locales debido al elevado contraste térmico existente entre la región del fuego y la región circundante, a veces son vientos muy intensos de diferentes direcciones que no siempre corresponden a la circulación general del viento a escala sinóptica (Instituto de Meteorología de Portugal (2001) y Viegas (2003)).

La topografía tiene gran influencia en los vientos generales y en los vientos locales modificando su velocidad y dirección que afectan notablemente al comportamiento de los incendios. Lopes & Viegas (1990) y Ferreira et al. (1990), al estudiar la influencia del viento sobre la propagación de los incendios en cañones y en las tres dimensiones de colinas en un túnel de simulación, concluyeron que el frente del incendio tiene una tasa de propagación mayor cuesta arriba que en terrenos horizontales, y su valor se incrementa con la inclinación del terreno. Así mismo, la tasa de propagación de un incendio que ocurre cuesta abajo es muy similar a aquellos que ocurren en terrenos planos y es prácticamente independiente de la inclinación del terreno, porque el incendio en este caso, está siendo manejado principalmente por la radiación de la cama de combustible y no por las llamas.

La estabilidad atmosférica

La estabilidad de la atmósfera está relacionada con la variación de la temperatura de acuerdo a la altitud, ya que es la resistencia de la atmósfera al movimiento del aire. Según su estabilidad, la atmósfera puede ser: atmósfera estable, inestable y neutra. Barros (2001) afirma que este elemento meteorológico se explica mediante las adiabáticas secas, húmeda y normal de la masa de aire.

En el caso de que la temperatura descienda poco con la altitud no existen condiciones para el establecimiento de corrientes ascendentes de aire, y se tendrá una atmósfera estable. Si la atmósfera es isoterma (igual temperatura a varias altitudes) o si hay una capa de inversión térmica, la atmósfera será muy estable, es decir, no habrá movimientos ascendentes y disminuirá la turbulencia. En estas condiciones, los incendios tienen un comportamiento menos peligroso.

Cuando la temperatura es muy elevada en la superficie del suelo, existen condiciones que facilitan la formación de células térmicas o ascendentes y por tanto los movimientos verticales del aire, encontrándonos en el caso de una atmósfera inestable, es decir, hay movimientos ascendentes y el régimen del viento pasa a turbulento. Según Mérida (2000) una atmósfera inestable favorece la ocurrencia de grandes incendios, al facilitar el ascenso de los gases de la combustión. La entrada de aire desde los laterales del incendio aporta oxígeno al incendio. Bajo estas condiciones, el incendio se puede desarrollar con violencia y tener un comportamiento errático.

Los signos prácticos que pueden servir de indicadores para determinar el grado de estabilidad atmosférica son:

- a) Las nubes en capas horizontales, estratos, indican una atmósfera estable
- b) Columnas de humo compactas de un incendio que adoptan forma de hongo a altitudes relativamente bajas son signos de estabilidad
- c) Los vientos tenues y continuos son signos de estabilidad
- d) Atmósferas limpias con mala visibilidad, con mucho vapor de agua suspendido y la presencia de nieblas indica estabilidad atmosférica

Los signos que pueden servir de indicadores para determinar el grado de inestabilidad atmosférica son:

- a) Las nubes de desarrollo vertical, cúmulos y cúmulo-nimbos
- b) El humo de un incendio que asciende en vertical hasta alcanzar grandes alturas caracteriza una atmósfera inestable
- c) Los vientos racheados, cambiantes de dirección y la formación de remolinos indican inestabilidad. El viento racheado es el aumento brusco del viento con respecto a su velocidad promedio tomada en un cierto intervalo de tiempo. Su duración es menor de 20 segundos y tiene una variación de cuando menos 15 km./h, seguida de un descenso de su velocidad (SENAMHI, 2001)
- d) Situaciones de buena visibilidad son indicadoras de inestabilidad
- e) En los mapas isobáricos, la existencia de bajas térmicas es signo de inestabilidad.

3.2 Índices de incendios forestales

Desde que empezó la investigación en la valoración del peligro de incendios forestales en 1925 (Van Wagner, 1987) los Servicios u Organizaciones de lucha contra los incendios forestales han creado diferentes índices, lo que ha contribuido a poner en marcha sistemas de prevención y extinción en la mayoría de países que se ven afectados por este problema.

Después de 27 años de la introducción del primer sistema de valoración del peligro de incendios forestales en un sistema nacional (Van Wagner, 1987) en el mundo, se han elaborado diversos índices a nivel local, nacional e internacional; sin embargo, los mecanismos para determinar el riesgo y peligro de incendios forestales no han sido completamente entendidos ni totalmente desarrollados y además, no existe consenso acerca de los mismos (San Miguel, 2001). Los índices utilizan diferentes factores, tienen diferentes clases de peligro, son de fiabilidad variable y no existe un método o procedimiento para la validación del comportamiento de los índices. Así la comparación de los índices en términos de coordinación local, nacional e internacional resulta difícil.

Dado que en los últimos años la forma de controlar los incendios ha cambiado y que la terminología sobre índices de incendios forestales comúnmente empleada ha sido ampliada y modificada, estos términos se definen a continuación con objeto de lograr la mayor claridad y precisión posibles en las definiciones generalmente aceptadas.

3.2.1 Definiciones básicas

Un término comúnmente empleado en la valoración del peligro de incendios forestales es el de “índice”. El Instituto de Aplicaciones Espaciales (2002) define este término, como el resultado de la identificación de los factores que contribuyen a la potencialidad de los incendios y que son integrados en una expresión matemática. Los índices pueden ser numéricos y cualitativos, pero carecen de unidades. Normalmente, tienen un periodo de validez, “rating period”, de 24 horas durante el cual su valor es considerado válido o representativo para propósitos administrativos o de gestión (desde la medianoche del día anterior a la medianoche del día siguiente).

Los conceptos de riesgo y peligro de incendios forestales no están homogeneizados, pero son términos ampliamente usados en la valoración de los incendios forestales.

La FAO (1986) define el riesgo de incendios “fire risk,” como la posibilidad o probabilidad de que se inicie el incendio debido a la naturaleza y presencia de los factores que dan origen a los mismos; además establece que el riesgo de incendios es un componente del sistema de valoración del peligro de incendios forestales. Mientras, el Servicio Forestal de Canadá, define este término como una parte del peligro de incendios, constituido por el contenido de humedad de los combustibles disponibles para arder, independiente de su cantidad, tipo y condición (FAO, 1986). Por lo tanto, existe consenso en que el riesgo de que ocurra un incendio está fuertemente asociado al contenido de humedad de la vegetación ligera muerta.

Por otro lado, el peligro de incendios “fire danger” es el resultado de un conjunto de factores constantes y variables que afectan al inicio y a la propagación de los incendios forestales, y consecuentemente, la dificultad de controlar el incendio y el daño que ellos puedan causar (FAO, 1986). Merrill y Alexander (1987) reafirman esta definición, ya que consideran que el peligro de incendios es un término general, usado para expresar una evaluación de factores fijos y variables del entorno ambiental de los incendios que determina la facilidad de ignición, la tasa de propagación, la dificultad del control y el impacto de los incendios forestales. Los mismos autores consideran, que la valoración del peligro de incendios es en cambio el proceso de evaluar e integrar sistemáticamente los factores individuales y asociados que influyen en el peligro de incendios, cuyo resultado está dado en forma de índices de peligro de incendios forestales. Por lo tanto, un índice de peligro es un indicador cuantitativo de una o más facetas del peligro de incendios, expresado en sentido relativo o como una medida absoluta. Por razones de aplicación práctica un índice de peligro de incendios se presenta en clases de peligro, en vez de un valor numérico; definiéndose una clase de peligro, como la porción, sector o segmento de una escala de peligro de incendios forestales identificado en términos numéricos o cualitativos. La mayoría de las organizaciones de control de incendios forestales trabajan sobre la base de cinco clases de peligro generalmente [Stocks et al. (1989), y Cheney citado por Merrill y Alexander (1987)].

Otro término de uso común, es el término vulnerabilidad a los incendios, “fire hazard” (en Estados Unidos principalmente). La vulnerabilidad es definida como la peligrosidad del material combustible que determina la facilidad de ignición y las dificultades de la extinción del fuego (FAO, 1986). En el Servicio de Protección Civil español se define “vulnerabilidad” como las consecuencias que tendrían los incendios, en caso de producirse, sobre valores prioritarios como: la vida y seguridad de las personas, las infraestructuras, instalaciones y zonas habitadas, los valores económicos, los valores de protección contra la erosión del suelo, los valores ecológicos, los valores paisajísticos y patrimonios histórico-artísticos (Varas, 2001).

De acuerdo a lo anteriormente expuesto, se puede afirmar que el riesgo de incendios está referido al inicio de los incendios; mientras que el peligro se refiere al comportamiento del incendio una vez iniciado. Como no puede haber propagación ni comportamiento del incendio sin que previamente el fuego se haya iniciado, en esta investigación se usan los términos “riesgo” y “peligro” de incendios forestales como sinónimos.

3.2.2 Tipos de índices de peligro de incendios forestales

De acuerdo a la definición del peligro de incendios (FAO, 1986), la elaboración de un índice de peligro implica modelar la influencia de los factores constantes y variables que afectan al inicio y a la propagación de los incendios forestales, identificándolos, asignándoles un peso, e integrándolos en un modelo. En el desarrollo de este proceso aparecen divergencias en cuanto a la forma de escoger los factores y de integrarlos en índices de incendios forestales, de manera que la literatura muestra diferentes enfoques (Tabla 4). Los índices muestran enfoques, factores y escalas de tiempo para el uso y la actualización de los productos derivados, diferentes. De acuerdo a la escala de tiempo, SAI (2002) clasifica los índices de peligro de incendios forestales en estáticos o estructurales, dinámicos e integrados o avanzados.

3.2.2.1 Estáticos o estructurales

Son aquellos índices que no cambian en el corto plazo, generalmente integran lo siguiente: las características productivas de la población local, la historia de los

Tabla 4. Diferentes factores utilizados en los índices de peligro de incendios forestales

País	Datos meteorológicos										Estado del suelo	Vegetación		Factores sociales
	T	HR	Vv	Vd	Pr	RS	CAS	EVTR	EVTP	Tipo Fenología		Hum		
Alemania	X	X	X		X		x		X		x			
Bolarus	X	X			X									
Chipre	X	X	X											
Croacia	X	X	X		X								X	
Eslovenia	X	X	X		X						X			
España	X	X	X	X									X	X
Francia	X	X	X		X								X	
Finlandia	X	X	X		X	X	X		X					
Holanda	X	X	X		X								X	
Hungría	X	X						x	x					
Italia	X	X	X		X									
Inglaterra		X	X										X	
Irlandia		X			X						X			
Israel	X	X	X	X	X								X	
Kazakistan	X	X			X									
Latvia	X	X			X									
Lituania	X	X			X									
Noruega	X	X			X					X		X	X	
Portugal	X	X	X	X	X									
Suecia	X	X	X		X		X						X	
Turquía	X	X												
Ucrania	X	X	X	X	X		X					X		

T = Temperatura del aire
 HR = Humedad relativa
 Vv = Velocidad del viento
 X = primer índice
 Vd = Dirección del viento
 Pr = Precipitación
 RS = Radiación solar
 x = segundo índice
 CAS= Contenido de agua en el suelo
 EVPT= Evapotranspiración real
 EVTP= Evapotranspiración potencial
 Fuente: Mata Reis (1998)

incendios, los tipos de combustible, la topografía y la proximidad a caminos principalmente. Estos índices se conocen con antelación ya que pueden ser calculados antes de la estación de incendios y sirven para mejorar la prevención contra la ocurrencia de los incendios.

En España, los índices estructurales están relacionados con los factores sociales y productivos de la población local, la historia de los incendios y los tipos de combustible. Estos índices son frecuentemente nombrados en los Planes de Protección Civil de Emergencia por Incendios Forestales de las Comunidades Autónomas entre ellos figuran:

- a) Índice de riesgo local. Es el resultado de integrar el índice de frecuencia, de causalidad y de combustibilidad (Vélez, 2000 e ICONA, 1982)
- b) Índice de vulnerabilidad
- c) Índice de riesgo estadístico. Es el resultado de integrar las frecuencias de los incendios y la causalidad de la serie histórica de incendios forestales

A nivel internacional, el factor “tipos de combustible” dio lugar a sólidos modelos y mapas de combustible (vivos y muertos clasificados de acuerdo a clases de tamaño, a tasas de superficie o volumen de las clases de tamaño, al poder calorífico, la humedad de extinción, los factores de reducción del viento) tradicionalmente usados por el Sistema NFDRS de los Estados Unidos y adoptado por otros países. Burgan (1988) revisó los modelos de combustibles y los modificó (el porcentaje de la vegetación viva, y la proporción entre la humedad en que el combustible ligero muerto alcanza la humedad del ambiente (10 horas del tiempo de retardo y la humedad de extinción de los combustibles ligeros muertos, es decir, el tiempo en el cual el fuego no puede durar ni propagarse en la vegetación de 0,6 a 2,5 cm de diámetro); así los mapas de combustibles actualmente usados por el Sistema NFDRS integran el combustible vivo y muerto en nuevas proporciones y consideraciones (Burgan, et al., 2002).

Es importante considerar que los índices de peligro estáticos deben ser validados, evaluados, actualizados repetidamente (alrededor de cinco años) y ser accesibles a la mayoría de los usuarios relacionados con el control de los incendios forestales.

3.2.2.2 Dinámicos

Son aquellos índices de peligro de incendios forestales cuyos factores cambian continuamente en el tiempo, por lo que la resolución temporal de los mismos es diaria. El dinamismo se introduce cuando se hacen participar factores meteorológicos y variables obtenidas a partir de datos satelitales. Ejemplo de índices dinámicos son: los de meteorología, los de tensión hídrica de la vegetación y los de evapotranspiración.

Los índices de peligro meteorológico de incendios forestales utilizan diferentes parámetros o elementos meteorológicos cuyos valores se suelen emplear en la estimación de la humedad del combustible fino muerto, que se supone en equilibrio con

las condiciones atmosféricas locales. En el capítulo 3.3 “Los índices de peligro meteorológico de incendios forestales” se describe en detalle este tipo de índice. Conviene destacar que el índice IPIF actualmente usado en España, pertenece a este tipo. Los índices de peligro meteorológico tienen un periodo de validez de 24 horas, generalmente.

Por otro lado, los Índices de Tensión Hídrica de la Vegetación son derivados de la acción fotosintética de las plantas, y por lo tanto, son consecuencia de las condiciones meteorológicas, cuya repercusión en la vegetación conduce a diferentes situaciones de riesgo que cambian más lentamente que las condiciones meteorológicas. Estos índices se emplean en la estimación de la humedad del combustible vivo, a través del cálculo de las Diferencias Normalizadas del Índice de Vegetación (NDVI) proveniente de las imágenes de satélite capturadas por los sensores del NOAA-AVHRR entre otros. La DGCN recibe mapas diarios del Índice de Tensión Hídrica de la Vegetación del INM y del LATUV, pero son pocas las Comunidades que las usan efectivamente. Así mismo, el Índice de Tensión Hídrica de la Vegetación es parte de la estructura del Índice Potencial de Peligro “Fire Potential Index” (FPI) desarrollado por Burgan, et al. (2002). Los Índices de Tensión Hídrica de la Vegetación suelen ser actualizados cada 10 días.

Ejemplos de índices de evapotranspiración, son el Índice de Reducción de la Evapotranspiración del Peligro de Incendios, usado en Italia y el Índice Baumgartner usado en Alemania (Mata Reis, 1998).

Al igual que los índices de peligro estáticos estos índices deben ser validados, evaluados, y sobre todo los mecanismos al acceso y el tratamiento de los datos deben ser claros, accesibles en tiempo real y de bajo costo para los gestores del control de incendios forestales, de manera que se asegure el máximo uso de estas bases de datos.

3.2.2.3 Integrados o avanzados

Estos índices integran a otros índices o factores estructurales y dinámicos, por lo que llegan a constituirse en sistemas de valoración del peligro de incendios forestales. Dos de los sistemas de mayor reconocimiento mundial son el Sistema Nacional CFFDRS y el Sistema Nacional NFDRS de los Estados Unidos; por sus características el Índice de Riesgo de Chile, es otro ejemplo de este tipo de índice (Vélez, 2000).

Los sistemas de valoración del peligro generan mapas temáticos, ya sea basados en predicciones y en medidas reales de los factores que les dan origen. Caballero (2001) afirma que en España es prioritario elaborar índices de peligro estáticos y dinámicos e integrarlos en plataformas de Sistemas de Información Geográfica para facilitar la toma de decisiones oportunas.

3.3 Los índices de peligro meteorológico de incendios forestales

A la luz de los conocimientos actuales las principales variables que influyen en la incidencia de los incendios forestales en la Cuenca Mediterránea son: las características socio-económicas (Vélez, 1997), la meteorología (Vázquez, 1996 y Viegas, et. al., 1999) el material combustible disponible para arder (Viegas, 1998), la topografía (elevación, pendiente y exposición) y el potencial de prevención y extinción de los incendios forestales de cada localidad o país. Por la importancia de la meteorología en la ocurrencia de incendios forestales, evidente en el verano 2003, y por la posibilidad de modificar la intervención humana, a través, de los índices de peligro meteorológico que permite cuantificar y predecir el peligro de incendios, se aborda la presente investigación.

Como es sabido existen numerosos métodos para estimar el peligro de incendios, con base en los elementos meteorológicos, que son utilizados en todo el mundo. Aunque, está fuera del ámbito de esta investigación una descripción y análisis de los métodos existentes; en este capítulo se procura describir resumidamente los tipos y la historia de índices de peligro meteorológico de incendios forestales, usados por los Servicios Meteorológicos y Forestales para proteger sus bosques y demás recursos naturales.

De acuerdo a la WMO (1986) los índices de peligro meteorológico de incendios forestales pueden ser clasificados en:

3.3.1 No acumulativos

Son los índices de peligro meteorológico de incendios forestales que se calculan en base a las condiciones meteorológicas del día. Dentro de este tipo se encuentran:

- a) El índice IPIF usado en España (Sol, 1995)
- b) Los factores: Humedad del combustible ligero muerto y el estrés hídrico del combustible vivo. Ambos componentes forman el Índice Potencial de Incendios Forestales (FPI) parte del NFDRS; Mata Reis (1988) indica que este índice también se ha usado en Israel
- c) El índice de bajo punto de condensación, usado en la República de Corea (Cianciulli, 1981)
- d) El índice alemán WBKZ, y el índice de humedad del suelo, usados en Suecia (Mata Reis, 1998)

3.3.2 Acumulativos

Son los índices de peligro meteorológico de incendios forestales que emplean algún método acumulativo de las condiciones meteorológicas pasadas. Dentro de los métodos acumulativos se encuentran:

- a) El índice FWI usado en Canadá [1970 (Van Wagner, 1987)], Nueva Zelanda [1980, Fogarti et al. (1998)], Francia [1995, Sol (1995)], Portugal [1998, (Almeida y Mata Reis (2000)], Suecia (Mata Reis 1998) y Croacia (Mata Reis 1998).
- b) El índice del contenido de humedad del Suelo, usado en Finlandia (Mata Reis, 1998)
- c) El índice de McArthur, usado en Australia (McArthur, 1966 y 1977)
- d) El índice de sequía Keetch-Byram (KBDC) parte del Sistema NFDRS de los estados Unidos (Pyne et al., 1996).
- e) El Índice de Reducción de la Evapotranspiración del Peligro de Incendios, usado en Italia (Sol, 1995)
- f) El índice de humedad efectiva, usado en Japón (WMO, 1968)
- g) El índice de Nesterov modificado, usado en Polonia (Cianciulli, 1981)
- h) El índice de Nesterov, usado en Rusia (Cianciulli, 1981)

Cuando el servicio meteorológico de un país es el responsable de la estimación del grado de peligro de los incendios, el índice resultante es relativamente simple en su forma ya que está basado en uno o varios de los valores diarios de los elementos meteorológicos, y en cierta función acumulativa de las condiciones meteorológicas pasadas. Mientras, en países donde los Servicios Forestales u otras organizaciones especializadas se encargan de la protección del bosque, han elaborado índices de peligro meteorológicos de incendio más complejos, en los que suele figurar el valor medido de la humedad de los diferentes combustibles vivos y muertos, a partir de ciertos elementos meteorológicos (temperatura, humedad relativa, precipitación y nubosidad principalmente).

Desde los inicios, el desarrollo de los índices de peligro de incendios forestales se ha caracterizado por reducir al mínimo la inevitable subjetividad que rondaba a cualquier método teórico o empírico. La Organización Meteorológica Mundial “WMO” (1968) identificó cinco técnicas de investigación meteorológica relacionada con el desarrollo de los índices de peligro de incendios forestales.

- a) La estadística de incendios forestales y el clima. El objetivo de este método es aislar los elementos meteorológicos asociados a la ignición y propagación del incendio, para correlacionar los valores de los elementos meteorológicos con la ocurrencia de incendios. De este modo, en alguna localidad se puede encontrar la asociación entre las estadísticas de incendios y el valor medio de la humedad relativa, temperatura máxima, horas de sol, etc. Estudios de este tipo han sido caracterizados por Larsen y Delavan, (1922) en los Estados de Idaho y Montana, por Krueger (1959) en Georgia, y más recientemente por Viegas, et al. (1994) en Portugal y Vázquez (1996) en España.

Hoy en día, ya no solamente se correlacionan los valores de los elementos meteorológicos con la ocurrencia de incendios, sino también los índices de peligro meteorológico o sus componentes [(Harrington, et al. (1983), Viegas, et al. (1999) y Burgan, et al. (2002)].

- b) Cartas sinópticas. En este método los factores del peligro meteorológico de incendios, la ocurrencia y el comportamiento de los incendios son relacionados directamente a reconocibles cartas sinópticas. En la década del

60 los meteorólogos usaron este tipo de cartas en los incendios forestales. Investigadores de este campo son Schroeder (1950) en la Bahía de Hudson, Estados Unidos, y Turner (1953) en Victoria, Canadá. En la actualidad esta técnica de investigación ha caído en desuso.

- c) Observaciones del comportamiento del fuego. Los Servicios Forestales encargados de la protección contra los incendios forestales con la colaboración de los meteorólogos especialistas llevan a cabo observaciones visuales e instrumentales en la vecindad de los incendios forestales, para establecer el microclima asociado a los incendios. La misma técnica es aplicada a las quemadas controladas [Vega (2001), Vega (2002), Molina (2000, 2000a y 2001) y Rigolot (2001)], en los ensayos de incendios forestales superficiales [GESTOSA (1998), Viegas y Pita (2002), Lopes, et al. (2002) y Viegas, et al. (2002a)], de copas (Alexander, 2002) y de focos secundarios (Catchpole y Cheney, 2002), realizadas en parcelas homogeneizadas con ciertos criterios.
- d) Estudio de casos. Consisten en registrar detalladamente la ocurrencia y comportamiento del fuego, probablemente como una única vía para adquirir conocimiento de los grandes incendios forestales [Viegas, et al. (2000), Ferguson (2002), Mangan (2002) y Rodríguez (2002a)]. Esta técnica también es aplicada en quemadas controladas y en los ensayos de incendios forestales superficiales, de copas y de focos secundarios.
- e) Investigaciones teóricas. Las cuatro técnicas descritas anteriormente son en cierta medida empíricas. Como estas técnicas necesitan de un cuidadoso análisis de los factores físicos que lo integran se desarrollan modelos teóricos deterministas y estadísticos relacionados con el problema de la ignición y propagación de los incendios forestales. Entre los principales investigadores que han desarrollado estos modelos de simulación y comportamiento de los incendios forestales desarrollados hasta la fecha se pueden incluir: Whittingham citado por WMO (1968), Byram (1959), McArthur (1966, 1977), Rothermel (1972), Rothermel y Burgan (1984), Finney (1997) Martínez-Millan y Saura (2000), y CEIF (2002).

El desarrollo de estas técnicas ha dado como resultado varias decenas de índices de peligro meteorológico [Cianciulli (1981) Pouliot (1991) Rijks y Ciesla (1992), Sol (1995) y Aguado y Camia (1998)] y algunos sistemas de valoración del peligro de incendios forestales.

Mata Reis (1998) analizó los índices de peligro meteorológico de incendios forestales usados por 31 países de la Organización Meteorológica Mundial (Asociación Regional IV: Europa) concluyendo que, 21 de los países usaban los índices de peligro meteorológico a nivel nacional, 13 de ellos pronosticaban el índice y sólo un país usaba medios de comunicación para difundir el índice. Así mismo, la temperatura, la humedad relativa, la precipitación y valores de velocidad de viento eran usados por 22 países para el cálculo del índice y seis de ellos usaban imágenes de satélite para obtener el estrés hídrico de la vegetación. Así mismo, 18 países (59%) no dieron detalles acerca de la evaluación del comportamiento del índice usado y 24 de ellos (77%) expresaron alguna idea acerca de la aceptación del comportamiento del índice usado, los cuales se clasificaron en básicos, regulares y buenos.

Aunque estos índices de peligro meteorológico de incendios forestales están siendo usados en los sistemas de prevención y extinción en diferentes países del mundo, sería conveniente uniformizar las tendencias nacionales e internacionales ya que cada uno de ellos requiere de varios elementos meteorológicos que no son fáciles de medir ni conseguir, usan programas de cálculo relativamente complicados, producen diferente escala en las clases de peligro y pocos de ellos han sido contrastados con datos de la ocurrencia de los incendios forestales y tienen fiabilidad variable, de manera que su comparación en términos de coordinación global es difícil.

En 1975, instituciones como la Organización Mundial de la Agricultura y Alimentación (FAO) y el Programa del Ambiente de las Naciones Unidas recomendaron la utilización de un índice de peligro meteorológico, cuyos principios teóricos y experimentales determinen la generalización de su uso, asegurando la disponibilidad de los datos meteorológicos en tiempo real y la simplicidad de su cálculo (FAO, 1997). La Organización Meteorológica Mundial reconoció que este sería el primer paso hacia el establecimiento de un sistema del pronóstico meteorológico de incendios y de un sistema de clasificación del peligro de incendios forestales, que pudiera ser utilizado por los países miembros de Europa (WMO, 1994); también en el

taller FAO/Silva Mediterránea/CIHEAM, llevado a cabo en Chania (1991), se estableció el objetivo prioritario de elaborar un índice común de peligro (Vélez, 2000c). Por otra parte, las emergencias generalizadas en todas las regiones en los últimos años han puesto de manifiesto la importancia de disponer de acuerdos internacionales establecidos antes de la aparición de los incendios (FAO, 2001). Disponer de un índice común, permite desarrollar acuerdos de colaboración en materia de manejo de incendios forestales a nivel regional y bilateral; entre otras cosas permite determinar los insumos técnicos y financieros para la asistencia mutua y adoptar medidas en situaciones de urgencia. Esta situación facilita la cooperación en materia de manejo de incendios forestales, estimula y apoya el desarrollo de nuevos acuerdos de emergencia, recurriendo a los mecanismos regionales o de otro tipo.

Las circunstancias anteriormente descritas han sido motivo de la realización de estudios comparativos entre los índices de peligro meteorológico de incendios forestales de cada país y los índices de mayor éxito mundial. Sol (1995), Aguado y Camia (1998), (Dimitrakoupoulos y Bemmerzuk (1998), Fogarti, et al. (1998), Sampaio et al. (1998) y (Almeida y Mata Reis (2000), Viegas et al. (2001), concluyen que el Índice FWI, parte del Sistema CFFDRS, muestra buenas aptitudes relacionadas a su posible uso como un método de valoración del peligro meteorológico en los países investigados. Así mismo, estudios de mayor escala (Francia, Italia y Portugal) informan sobre la adaptabilidad del índice FWI a los países con clima mediterráneo (Viegas et al. (1999) y posiblemente a toda la Cuenca Mediterránea.

3.4 Uso de índices de peligro meteorológico de incendios forestales en España.

Para conocer las implicaciones del uso de los índices de peligro meteorológico en la prevención y lucha contra los incendios forestales, en este capítulo se presenta un resumen histórico y legal de su uso analizando su funcionalidad y los criterios de operación en la gestión contra incendios forestales.

El considerable incremento de los incendios forestales en España determinó que en 1955 se creara el Servicio de Defensa de los Montes contra los incendios. Desde su creación el Servicio consideró importante la utilización de índices meteorológicos, y a partir de 1958 ha contado con este instrumento para auxiliar a las medidas de prevención y lucha contra los incendios forestales (Vélez, 2000). A lo largo de los

últimos 44 años los índices meteorológicos se han ido adaptando y modificando para mejorar su fiabilidad, además, los dispositivos legales estatales y de las Comunidades Autónomas, han contribuido a que su uso se institucionalice y sea de carácter nacional.

Dado que en España no existían estudios sobre esta materia, el primer índice adoptado fue el de los Estados Unidos (sistema 8W); además, se estudió y trabajó sobre el índice de Canadá, cuyo cálculo era menos complicado y el sistema sólo requería de datos meteorológicos. Para adquirir experiencia y preparar un índice de peligro adaptado a las características forestales y meteorológicas españolas, en 1964 se empezó a trabajar con los Servicios provinciales. Para ello se les envió tres circulares que describían los sistemas: de Canadá, de los Estados Unidos, y el de las estaciones meteorológicas tipo para calcular el índice por cualquiera de los dos sistemas. Dada la fácil utilización del sistema canadiense, su uso se hizo habitual en la época de incendios. En 1968 se añadieron dos tablas más a las originales (la primera consideraba las sequías prolongadas de más de 24 días; mientras la segunda consideraba el efecto desecante de los vientos terrales) y se obtuvo el primer índice conocido como **“índice sintético modificado”**. El índice se clasificaba en cinco grados de peligro (Nulo, Bajo, Moderado, Alto y Extremo) y funcionó aceptablemente. Sin embargo, tenía el inconveniente de que en la mayoría de los días del verano se alcanzaba el grado de peligro extremo, perdiendo significado y fiabilidad. Ante esta situación en 1978 se inicia la experimentación con un índice basado en el sistema australiano y surge el segundo índice conocido como **“Índice Analítico”**. Este operaba con dos índices: uno de ignición y otro de propagación; el primero estaba relacionado con la duración de la sequía, y el segundo con las condiciones de viento y la humedad de los combustibles ligeros muertos (ICONA, 1982). Vélez (2000) informa que con la experiencia en el uso de los índices anteriores, y la aparición del modelo BEHAVE [Rothermel (1983); Rothermel y Burgan (1984)] de comportamiento de los incendios, se desarrolló el **“Índice de Peligro de Incendios Forestales, IPIF”** de uso actual. Este índice también es conocido como **grado meteorológico de peligro** en los Planes de Protección Civil de Emergencia por Incendios Forestales.

El Índice IPIF se compone a su vez de dos índices: el índice de probabilidad de ignición (IPIG) y el índice de alerta (IA). El IPIG está relacionado con los elementos meteorológicos que condicionan el inicio del fuego; mientras el IA está relacionado con

el viento, elemento meteorológico que condiciona la propagación y comportamiento del incendio. El IPIF tiene cuatro niveles de gravedad y ha sido usado por el Servicio Forestal español desde 1993. Actualmente, el INM se ocupa de su cálculo durante la Campaña Nacional de Prevención y Lucha contra Incendios Forestales (generalmente de junio a septiembre), como parte del Plan Estatal de Protección Civil para Emergencias contra Incendios Forestales. Por ello elabora el índice IPIF para el día de mañana (d+1), el mapa del índice de alerta nacional previsto y proporciona información de los elementos meteorológicos que componen el índice IPIF con la tendencia para el día “d+2”, principalmente.

Cadenas, et al. (2001) evaluaron la bondad del índice IPIF y comprobaron que éste alcanzaba valores de alarma extrema en un alto porcentaje de días; para mejorar la utilización práctica del índice IPIF propusieron una reagrupación de los valores del índice IPIG y de las velocidades del viento que permitieran una distribución más ajustada de los valores. Los resultados de esta investigación modificaron la versión desarrollada por el ICONA; se usa desde la campaña contra incendios forestales de 2000 (INM, 2002) y constituye **la última versión del índice IPIF**.

Por su parte la legislación estatal contempla el uso de índices meteorológicos de incendios forestales desde 1968, a través de la Ley 81/1968 sobre Incendios Forestales, aún vigente. En el artículo 4, dispone que la ejecución de las medidas preventivas se realizará a través de la Dirección General de Montes, Caza y Pesca del Ministerio de Agricultura, actual DGCN del Ministerio de Medio Ambiente. El artículo 3c establece la competencia de determinar los índices y factores atmosféricos para regular el uso de los montes y la ejecución de actividades que impliquen riesgo de incendios (Piñar y Jiménez, 1997). Por otra parte el Reglamento de la Ley de Incendios Forestales (Decreto 3.769/1972) actualmente vigente, dispone que la promoción de la prevención estará a cargo del Instituto Nacional ICONA, actual DGCN, y establece sus competencias (artículos 4 y 5). También establece que el ICONA dictará las normas que permitan calcular el índice de peligro de incendios forestales; que los Servicios provinciales difundirán con la máxima amplitud los índices y factores de peligro; y cuando el peligro alcanzado lo exija el Jefe provincial del ICONA propondrá la adopción de aquellas medidas que juzgue más convenientes para combatir los incendios (artículos 9 y 10).

A través, de la Directriz Básica de Planificación de Protección Civil de Emergencia por Incendios Forestales (Orden 2/4/93) derivada de la Ley de Protección Civil (Ley 2/1985, artículo 8) la Administración central del Estado impulsa el uso nacional del índice IPIF. Las Comunidades Autónomas deben elaborar los Planes de Protección Civil de Emergencia por Incendios Forestales, (Planes de Actuación de Ámbito Local y Planes de Autoprotección), en coherencia con el principio de que la protección de la vida y la seguridad de personas ha de prevalecer frente a cualquier otro valor. Dentro de este contexto, se usa el índice de alerta (IA) principalmente, y como tal está orientado al despliegue de medios de extinción (terrestre y aéreo) y las actuaciones de protección según los niveles de gravedad potencial que pueden alcanzar los incendios forestales.

Para lograr este objetivo, la Administración estatal ha creado estructuras para coordinar y actuar conjuntamente desde 1995, año en que se aprobó el Plan Estatal de Protección Civil para Emergencias contra Incendios Forestales. Dentro de esta estructura de organización el Comité Estatal de Coordinación (CECO), coordina a los siguientes organismos estatales: la DGCN, el INM, la Dirección General de Protección Civil (DGPC), el Ministerio de Defensa y la Presidencia de Gobierno. Su función principal es coordinar las medidas que deben adoptar los organismos mencionados, en caso de declaración simultánea de varios incendios de interés nacional en diferentes comunidades autónomas o en circunstancias de especial gravedad. Para ello define la época de la Campaña Nacional de Prevención y Lucha contra Incendios Forestales (como mínimo de 15 de junio a 30 de septiembre). El INM colabora a través de los Grupos de Predicción y Vigilancia (GPV) de las Comunidades Autónomas. Los GPV elaboran diariamente la predicción del índice IPIF (IPIG y IA) para cada zona territorial dentro de la Campaña Nacional como mínimo, con la excepción de la Comunidad Valenciana, que utiliza el “Índice de Peligrosidad de Incendios Forestales en el Levante Español”, desarrollado por el Centro Meteorológico Territorial de Valencia, desde 1997. La predicción es difundida vía telefax antes de las 11:00 horas locales al delegado del Gobierno, a los Organismos de la Comunidad Autónoma con competencias en la prevención y lucha contra los incendios forestales y al Centro Nacional de Predicción (CNP) del INM. El CNP elabora el mapa nacional de peligro, conocido técnicamente como mapa de alerta de incendios forestales, integrando automáticamente los valores previstos en el índice IPIF. El mapa se remite diariamente por telefax, antes de las

12.00 horas locales a la DGCN y a la DGPC; además, proporciona información de los elementos meteorológicos que componen el índice de peligro español con la tendencia para el día d+2 y mapas del Índice del Estrés Hídrico de la Vegetación.

La DGCN también recibe mapas diarios del Índice del Estrés Hídrico de la Vegetación (LATUV, 2002), viva. Así mismo, recibe mapas del índice IPIF y del Índice canadiense FWI para el día “d+1” y “d+3” a través del “Proyecto de Riesgos Naturales” (Comisión Europea, 2002). Toda esta información se analiza y aplica en la toma de decisiones para la movilización de medios aéreos, y en su caso de medios de las Fuerzas Armadas, cuya intervención pudiera ser necesaria ante situaciones de emergencia provocados por los incendios forestales. Así la Administración estatal presta una intensa atención y ha desarrollado ágiles sistemas de coordinación, orientados a programas de extinción de incendios forestales que se concentran en la época de mayor peligro (de junio a septiembre) principalmente.

Con el traspaso de funciones y servicios del Estado a las Comunidades Autónomas (Estatutos de Autonomía de las Comunidades), el régimen jurídico de la prevención y lucha contra los incendios forestales en la mayoría de las Comunidades ha sido modificado. Sin embargo, los regímenes consideran el uso de índices o criterios de riesgo meteorológicos para elaborar los Planes de Protección Civil de Emergencia por Incendios Forestales; además, alguno de ellos consideran acciones anteriores y posteriores al incendio, intentando conjugar los criterios de la Protección Forestal con los de la Protección Civil. Dentro de estas actividades la Comunidad de Aragón está desarrollando un Índice propio de Incendios Forestales (Álvarez, et al., 2001). De acuerdo con la información legal analizada el índice IPIF, otros índices o criterios meteorológicos actualmente se usan para:

- a) Definir las zonas de peligro en el ámbito territorial. El índice meteorológico es un elemento para la zonificación del territorio
- b) Definir la época de peligro. Por ejemplo, en la Comunidad de Andalucía y Valencia la época de peligro dura todo el año, pero establecen diferentes niveles de peligro; mientras en la Comunidad de Aragón y Asturias calculan el índice meteorológico respectivo diariamente durante todo el año, aunque no definen la época de peligro. De acuerdo con la legislación preventiva de las Comunidades Autónomas se observa diferentes épocas de peligro, lo cual

resultaría lógico debido a las diferentes características meteorológicas y socio económicas de las Comunidades. Esta situación motivó que desde la Campaña Nacional contra Incendios Forestales de 1997 los Centros Meteorológicos Territoriales pudieran anticipar las fechas de inicio o retrasar la terminación, sin dejar de mantener el núcleo de la Campaña Nacional Estatal.

- c) Autorizar quemas en superficies agropecuarias y forestales. Así, las Comunidades de La Rioja y Navarra han definido calendarios de quemas agrícolas y forestales sobre la base de la experiencia práctica sin especificar el uso del índice IPIF u otro
- d) Autorizar quemas de cualquier finalidad
- e) Suspender quemas autorizadas
- f) Limpiar combustibles vegetales en vías de comunicación en terrenos forestales antes de la época de peligro
- g) Usar extintores en la maquinaria agrícola y forestal en la época de peligro
- h) Autorizar el carboneo y destilación de plantas aromáticas
- i) Autorizar quemas para realizar labores de apicultura
- j) Cerrar caminos y tránsito de personas, y vehículos
- k) Permisos de distribución de energía, oleoductos, gasoductos y almacenamiento de explosivos
- l) Prohibir el uso del fuego fuera de cocinas en viviendas o zonas industriales aisladas
- m) Fomentar la compactación y cubierta de residuos sólidos
- n) Autorizar o prohibir competiciones con vehículos a motor
- o) Definir áreas cortafuego. La determinación de zonas de riesgo permite la planificación y ejecución de áreas cortafuego, tal como lo hace la Comunidad de Valencia (Velasco, 2000)
- p) En planes de vigilancia preventiva. Se plantea la asignación territorial de recursos y misiones, sistemática (información, vigilancia y disuasión), diseñada y dotada en función de la época del año y las condiciones meteorológicas de cada día presente, en este caso, en la Comunidad Valenciana (Velasco, 2000).

De acuerdo a la información legal vigente se puede afirmar que existe un adecuado soporte legal preventivo para regular los usos y actividades humanas susceptibles de provocar incendios forestales en las zonas y épocas de peligro (autorizaciones y prohibiciones, de uso limitado en la época de mayor peligro de las Comunidades Autónomas. Sin embargo, el Comité de Lucha contra Incendios Forestales (CLIF, 1997) informa que la mayoría de las autorizaciones y prohibiciones se deciden por la experiencia práctica de los gestores, o el uso de otro índice meteorológico (Valencia) ya que el índice IPIF muestra poca fiabilidad. De las 17 Comunidades españolas, sólo Asturias indica que a partir de 1992 usa el índice de probabilidad de ignición (IPIG), parte del índice IPIF, para autorizar o prohibir la realización de quemas durante el año. Se estima que se conceden más de 200.000 permisos de quema al año, correspondiendo el 80% a las provincias del Noroeste de la Península (CLIF, 1997), donde es más numerosa la población rural y más arraigado el empleo del fuego como herramienta.

Cuando se considera el coste económico de las prohibiciones o autorizaciones de las actividades humanas, y la multa o sanción que pudiera ocurrir por infracciones legales, estos dejan de ser insignificantes, y aparece o se fortalece un área de conflicto entre los Servicios Forestales y las poblaciones locales motivadas por falsas alarmas.

Por otro lado, las Administraciones Autonómicas dedican recursos humanos y materiales para elaborar los Planes de Protección Civil de Emergencia por Incendios Forestales (Orden 2/4/1993) que promueven la prevención al solicitar el análisis de riesgo, vulnerabilidad y zonificación del territorio a través de mapas y épocas de peligro, y la extinción al considerar la clasificación de los incendios y las actuaciones básicas para la extinción de los mismos. Sin embargo, los cuatro primeros elementos relacionados con la prevención, están parcialmente desarrollados y utilizan índices estructurales principalmente. Esta mezcla de enfoques y metodología produce dificultad para establecer comparaciones y generarían mayores problemas si se quisiera comprobar si se avanza en dirección correcta o si se repiten rutinariamente las medidas con independencia de su eficacia [Comunidad Autónoma de Andalucía (2000), Decreto 226/1995 (2000), Comunidad Autónoma de Baleares (2001), Gobierno de Canarias (2000), Junta de Castilla y León (2000), Junta de Comunidades de Castilla La Mancha. 2000, Generalitat de Catalunya (1994), Junta de Extremadura (2000), Xunta de Galicia (1996), Decreto 163 (1998), Decreto Foral 272 (1999), Gobierno Vasco (1998)].

Por otro lado, pocas Comunidades usan el índice IPIF en programas de silvicultura preventiva integrada a planes de ordenación y aprovechamiento del monte público y privado que permitan reducir el inicio de incendios forestales (como la C. Valenciana, pero usa el índice meteorológico propio).

De acuerdo con lo anteriormente expuesto se puede observar que el Estado impulsa el uso de los índices de peligro meteorológico, en este caso el índice IPIF, en las actividades de prevención y extinción de los incendios forestales, para lo cual está organizado legal y administrativamente. Sin embargo en la mayoría de las Autonomías, su uso se restringe a la presentación de los Planes de Protección Civil de Emergencia por Incendios Forestales, y a la época de la Campaña Nacional de Prevención y Lucha contra incendios forestales (junio a septiembre).

3.5 El Índice de Peligro de Incendios Forestales “IPIF”

El índice IPIF es un índice meteorológico (dinámico) no acumulativo. Este método ha sido desarrollado por el ICONA a partir de los modelos de humedad de los combustibles ligeros muertos estudiados por Rothermel y Burgan (1984). Está relacionado básicamente con el contenido de humedad de los combustibles ligeros muertos, los cuales son bastante sensibles a la variación meteorológica. Desde la Campaña Nacional de Prevención y Lucha contra Incendios Forestales 2000, se trabaja con la última versión del índice IPIF, modificado por Cadenas, Mestre y Moreno., (INM, 2002).

La temperatura y humedad relativa del aire son los insumos básicos requeridos para obtener la llamada humedad del combustible. La humedad del combustible es entonces corregida de acuerdo al periodo del año, hora del día, cobertura del terreno, la orientación y la pendiente del terreno.

3.5.1 Insumos requeridos

T	Temperatura del aire en grados centígrados (bulbo seco, °C)
HR	Humedad relativa del aire en porcentaje (%)
Vv	Velocidad del viento a 10 metros del suelo en kilómetros por hora (km./h)

- Vd Clase de viento: Terral (viento seco que procede de la tierra) y no terral (viento húmedo que procede del mar)
- Hora De cálculo del índice: De 8:00 a 20:00 horas solares y de 20:00 a 8:00 horas. La hora de cálculo actual 12:00 horas del Tiempo Universal Coordinado (UTC)
- Sombra del terreno Dos clases: $> 50\%$ y $< 50\%$. Actualmente el cálculo se realiza considerando terrenos expuestos, es decir, $< 50\%$
- Pendiente del terreno Dos clases: $> 30\%$ y $< 30\%$ (Se usa como factor de Corrección). El método actual considera la pendiente constante
- Orientación del terreno: Cuatro clases: N, E, S, W (Se usa como factor de corrección). El método actual considera la orientación constante

El índice IPIF puede ser calculado a partir de tablas y siguiendo tres pasos que se detallan a continuación. Las Tablas 5, 6, 7, 8 y 9 son de doble entrada y básicamente hacen referencia a la humedad del combustible ligero muerto en los meses del año.

En primer lugar con los datos de temperatura y humedad relativa, se entra en la Tabla 5, 6 ó 7 (según el mes en que se encuentre), y se obtiene directamente el valor de la humedad del combustible ligero muerto. Anteriormente, se buscaba el valor de corrección (Tabla 10) a ser añadido a la humedad relativa, para obtener el valor final de la humedad del combustible ligero muerto.

A continuación, con el valor de la humedad del combustible y la temperatura del aire, se obtiene en la Tabla 8 la probabilidad de ignición, también conocido como Índice de Probabilidad de Ignición (IPIG).

Por último, entrando en la Tabla 9 con los valores de la probabilidad de ignición y velocidad del viento, según sea terral o no terral, se obtiene el Índice de Alerta (IA) clasificado en cuatro grados de peligro: Grado 0, Grado 1, Grado 2 y Grado 3. El grado de peligro, se hace corresponder a las categorías de peligro para obtener el índice IPIF, clasificado en peligro: Bajo, Moderado, Alto y Muy alto.

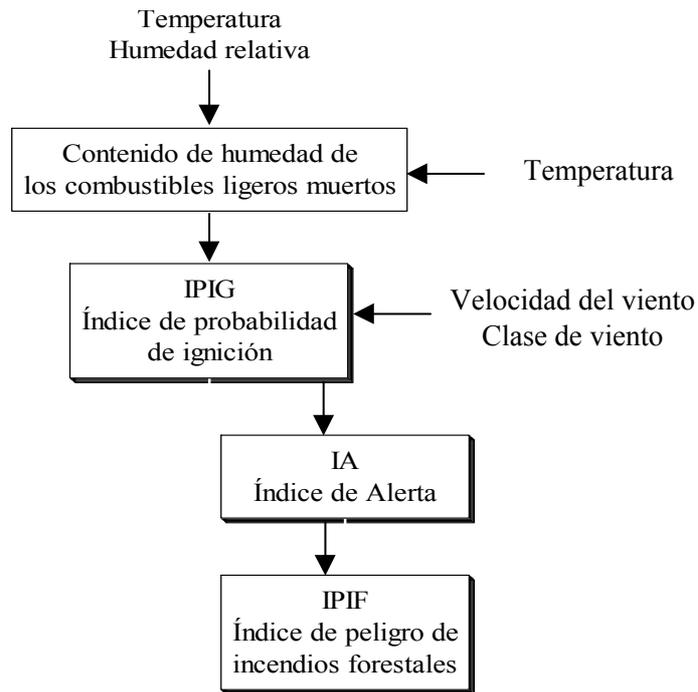
Tabla 10. Corrector del contenido de humedad del combustible ligero muerto según meses del año. De 8:00 a 18:00 horas solares (Valor a añadir a valores de Tablas 5, 6 ó 7)

Meses del año	Orientación	Pendiente (%)	Exposición del material combustible ligero muerto											
			< del 50% bajo sombra (Hora)						> del 50% bajo sombra (Hora)*					
			8	10	12	14	16	18	8	10	12	14	16	18
Nov-dic-ene	N	0-30	5	4	3	3	4	5	5	5	5	5	5	5
		> 30	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	E	0-30	5	4	3	3	4	5	5	5	5	5	5	5
		> 30	5	4	3	2	5	5	5	5	5	5	5	5
	S	0-30	5	4	3	2	4	5	5	5	5	5	5	5
		> 30	5	3	1	1	3	5	5	5	5	5	5	5
	O	0-30	5	4	3	3	4	5	5	5	5	5	5	5
		> 30	5	5	4	2	3	5	5	5	5	5	5	5
Feb-mar-abr-ago-sep-oct	N	0-30	4	2	1	1	2	4	5	5	4	4	5	5
		> 30	4	3	3	3	3	4						
	E	0-30	4	2	1	1	2	4	5	4	4	4	5	5
		> 30	3	1	1	2	4	5						
	S	0-30	4	2	1	1	2	4	5	4	4	4	4	5
		> 30	4	2	1	1	2	4						
	O	0-30	4	2	1	1	2	4	5	5	4	4	4	5
		> 30	5	4	2	1	1	3						
May-jun-jul	N	0-30	3	1	0	0	1	3	5	4	3	3	4	5
		> 30	4	2	1	1	2	4						
	E	0-30	2	1	0	0	1	4	4	4	3	4	4	5
		> 30	2	0	0	1	3	5						
	S	0-30	3	1	0	0	1	3	4	4	3	3	4	5
		> 30	3	1	1	1	1	3						
	O	0-30	3	1	0	0	1	3	5	4	3	3	4	4
		> 30	5	3	1	0	0	2						

* = Se asume que la pendiente es cero % en los meses de febrero, marzo, abril, mayo, junio, julio agosto,septiembre y octubre

3.5.2 Componentes estructurales

Figura 3. Estructura del Índice de Peligro de Incendios Forestales, IPIF



En la Figura 3, se observa que la estructura del IPIF está compuesto por dos subíndices de incendios: el de Probabilidad de Ignición “IPIG” (Tabla 8) y el de Alerta “IA” que tiene cuatro grados (Tabla 9). De acuerdo a lo anteriormente expuesto el INM (2002) indica que el índice IPIF está clasificado en las siguientes categorías de peligro:

Grado 0: Bajo

Indica que el peligro es bajo y que su control no implica precauciones especiales

Grado 1: Moderado

Indica que el peligro es moderado y que los medios de control estarán listos para ser utilizados

Grado 2: Alto

Indica que el peligro es alto.

La vigilancia preventiva será intensificada.

Los medios de lucha estarán preparados al máximo.

El paso a las zonas boscosas será limitado.

Se informará a la población a través de los medios de comunicación para que adopte medidas preventivas.

Grado 3: Muy alto

Indica que el peligro es extremo.

Altísima probabilidad de múltiples y grandes incendios, así como formación de focos secundarios causados por pavesas.

Los medios de lucha estarán preparados al máximo.

Se limita al máximo el paso al monte. Las pistas forestales se cortan

No se permite ningún punto de fuego en las cercanías del monte (quemadas agrícolas, hogueras, parrillas, basureros, etc.)

Se informará a la población a través de los medios de comunicación para que adopte medidas preventivas.

El valor de índice IPIF así obtenido es válido para un lapso de tiempo entre las 12:00 y las 14:00 horas locales, ya que el cálculo del índice se realiza con los valores de los elementos meteorológicos registrados a las 12:00 horas UTC, que según García (1985), corresponde a las 12:00 horas del día en el Meridiano de Greenwich.

Algunas consideraciones sobre la estructura del IPIF se mencionan a continuación. Respecto a los insumos requeridos, la clase de viento podría no ser propia de la heterogeneidad orográfica de España, además Sol (1995) y Mestre (2003a) informan que en las Regiones Mediterráneas de Francia y España los vientos inferiores a 20 km/h son raros después del medio día. Respecto a los factores pendiente y orientación del terreno, el hecho de no considerarlos, intenta evaluar la peor condición meteorológica del área estudiada; la precipitación, elemento de suma importancia en el origen de los incendios forestales (Capítulo 3.1) no es considerada de manera directa en este método.

Por otro lado, analizando la Tabla 8 del índice "IPIG" se observa que los valores numéricos son discretos y alcanzan 10 clases de riesgo, donde el mínimo valor del índice "IPIG" es 10 y no cero. Así mismo, el valor de la velocidad del viento y la clase de viento tienen un peso importante en el valor diario del índice IPIF, ya que las 10 clases del índice "IPIG" se reducen a cuatro clases de peligro.

De acuerdo a la estructura del índice IPIF, se puede afirmar que este es un índice de ignición esencialmente, ya que para la valoración de la propagación y el comportamiento del incendio usa el programa BEHAVE.

3.6 El Índice Meteorológico de Incendios Forestales “FWI”

El FWI es un índice dinámico y acumulativo, compuesto por seis subíndices referidos a la variación del contenido de humedad del combustible vegetal muerto, a la tasa inicial de propagación, a la cantidad de combustible y la intensidad del frente de llamas; estos subíndices tienen diferentes tiempos de respuesta a los cambios del tiempo atmosférico, y por lo tanto, al control de los incendios forestales.

La estimación del contenido de humedad del complejo de combustibles vegetales muertos, típicos de los bosques canadienses, es realizada a partir de un conjunto de ecuaciones físicas que fueron contrastadas con datos obtenidos experimentalmente. Por lo tanto, la base del FWI es la inflamabilidad del complejo de combustibles muertos, que depende del tiempo atmosférico y de su efecto acumulativo sobre los mismos. Según Viegas (2001) el hecho de que el índice FWI se fundamente parcialmente en leyes físicas, define la generalidad, casi universal de su estructura, aunque existe por otro lado, la necesidad de calibrarlo en su aplicación práctica para cada uno de los entornos geográficos en que se pretenda aplicar.

Antes de empezar con la descripción de la estructura del índice FWI, se presenta el estado de su desarrollo, que va necesariamente ligada al desarrollo del Sistema CFFDRS, ya que es la base en que este sistema se fundamenta.

3.6.1 El Sistema de Valoración de Peligro de Incendios Forestales Canadiense “Canadian Forest Fire Danger Rating System” (CFFDRS)

Es el resultado de 78 años de investigación en Canadá, que culminó en 1970 con la introducción del sistema de valoración del peligro de incendios forestales a nivel nacional (Van Wagner, 1987). Sería necesario mucho espacio para presentar la historia de la investigación sobre el Sistema CFFDRS, circunstancia que no es necesaria para los propósitos de la presente investigación; sin embargo, se presenta un resumen de la misma.

En 1925 J. Wright inició la línea de investigación sobre la valoración del peligro de incendios forestales canadiense que ganó aceptación en dicha nación día a día. Durante las décadas siguientes Wright, su colega Beall, y sus sucesores desarrollaron cuatro diferentes índices de peligro con el incremento de su aplicación a través del país. Entre los años de 1950 y 1960 los estudios para el establecimiento del índice examinaron, por una parte, la correlación entre la desecación de los combustibles y los factores meteorológicos; por otra, analizaron el comportamiento de incendios reales y experimentales en diversos casos. Para analizar como se desecaban los vegetales se realizaron determinaciones de la humedad del combustible vegetal y su desecación en la estufa, a través de pesadas sistemáticas, a la vez que midieron la humedad atmosférica. Las investigaciones incluyeron ensayos de campo y laboratorio, abarcando todo tipo de combustibles, pero principalmente los más próximos al suelo (hojas secas, ramillas caídas, matorrales, humus, turba, etc.). Con los resultados obtenidos se confeccionaron tablas, donde cada tipo de combustible era afectado por un peso de acuerdo a la superficie ocupada por el mismo en la región a la que se circunscribía el estudio. Por otra parte se estableció la correlación entre la humedad atmosférica, la lluvia y el viento según la época del año, con cuyos resultados también se elaboraron tablas. Con aquellas tablas se calculaba el índice general, y luego con la ayuda de tablas auxiliares se determinaba el peligro de algunos modelos de combustibles como praderas y matorrales entre otros (Vélez, 2000).

En la década siguiente a 1957, cuatro versiones adicionales de los sistemas fueron usados para varias regiones de Canadá, cada versión basada sobre investigaciones de campo en los combustibles de importancia local (Forestry Branch, 1959; Kiil y Mac Tavish, 1962; Paul y Mac Tavish, 1965, y Mac Tavish, 1965)

En la década de los 70 las Agencias de control de incendios forestales se hicieron más sofisticadas y demandaron aspectos del sistema que no habían sido previstos durante los años 50. En respuesta a los requerimientos y comentarios de un elevado número de Agencias provinciales de control de incendios forestales, se emprendió el desarrollo de un nuevo índice de peligro de incendios forestales. Este fue llamado **“Índice Meteorológico de Incendios Forestales”** a sugerencia de J. Macleod, y su forma básica fue propuesto por Muraro en 1968. La filosofía de los investigadores fue usar lo más posible el trabajo del índice de peligro realizado antes de 1968,

construyendo el nuevo índice sobre los mejores rasgos del anterior, añadiendo nuevos componentes donde fuera necesario. La versión original del Sistema CFFDRS y sus Sub-sistemas auxiliares, entre los que encontramos al índice FWI fueron usados por primera vez en 1970, a nivel nacional. Subsiguientes ediciones de las tablas del FWI aparecieron en 1976, 1978 y 1984 (Servicio Forestal Canadiense, 1976, 1978, 1984). Estos incorporaron algunos cambios matemáticos así como la conversión de las unidades meteorológicas Imperiales a las métricas. Sin embargo, los productos básicos de su desarrollo se mantuvieron y culminó con la presentación del Sistema en un documento elaborado por Van Wagner en 1987. Así, el índice FWI mantiene una sólida unión con el índice de 1968 y es, en efecto, el resultado de una serie de pasos a lo largo de la senda iniciada por J. Wright.

3.6.2 Insumos requeridos

Los elementos meteorológicos que el índice FWI requiere como datos de entrada son:

T	Temperatura del aire en grados centígrados (bulbo seco, °C)
HR	Humedad relativa del aire en porcentaje (%)
Vv	Velocidad del viento a 10 metros del suelo en kilómetros por hora (km./h)
Pr	Precipitación ocurrida en las últimas 24 horas (mm)

Estos valores corresponden a los registrados a las 12:00 horas UTC o bien son los valores previstos para las 12:00 horas UTC, con la finalidad de obtener el valor máximo diario del índice “FWI”, situación que ocurre cerca del medio día. Es posible calcular los valores de los diferentes subíndices a cualquier hora del día, pero la interpretación de estos valores debe ser efectuada con precaución. Si no hay alguna referencia explícita se entiende que el valor diario del índice es calculado con los valores de los elementos meteorológicos reales o previstos para las 12:00 horas UTC.

Un requisito importante es contar con los valores de los elementos meteorológicos diarios ininterrumpidos durante la época estudiada, ya que el FWI es un índice acumulado, y como tal usa los valores resultantes de los subíndices del día “d” para calcular los subíndices del día siguiente “d+1”. Así mismo, para asegurar la

estabilidad de las estimaciones, el cálculo debe ser iniciado en un periodo en que los valores del contenido de humedad de los combustibles ligeros muertos sean máximos, es decir, luego de un periodo de elevada precipitación.

El Centro Meteorológico de predicción de incendios en Canadá proporciona la fecha y los valores de inicio de los códigos de humedad en cada primavera. Turner y Lawson (1978) informan que cuando la información no está disponible, se puede seguir el siguiente procedimiento para determinar los valores de inicio de los códigos:

- 1° Si el área donde se usa el índice está cubierta de nieve durante el invierno, los cálculos deben empezar el tercer día después de que el área esté libre de nieve, utilizando los valores de los subíndices que se ven en la Tabla 11 parte (a).
- 2° En lugares donde la cubierta de nieve no es un rasgo significativo, los cálculos deberán empezar en el tercer día sucesivo en que se ha registrado una temperatura \geq de 12°C. En este caso, se usa los valores de inicio de los subíndices de acuerdo a las fórmulas que se presentan en la Tabla 11 parte (b).

Almeida & Mata Reis (2000) y Viegas et al. (2001) realizaron la calibración del índice FWI para Portugal y afirman que es suficiente comenzar el cálculo a inicios de la primavera, utilizando los valores de 85, 15 y 6 para los subíndices FFMC, DMC y DC, respectivamente.

3.6.3 Componentes estructurales

La estructura del índice FWI se encuentra representada esquemáticamente por tres niveles y seis componentes (Figura 4), que reflejan las condiciones generales de los bosques de pino (jack pine "*Pinus banksiana*" y lodgepole pine "*Pinus contorta*", principalmente) que forman una banda más o menos continua a través de Canadá, según Pyne et al. (1996). El primer nivel comprende las observaciones meteorológicas; el segundo los subíndices del contenido de humedad de la vegetación muerta bajo la cubierta arbórea; y el

tercer nivel a los subíndices de comportamiento del fuego. Los tres primeros componentes corresponden a los subíndices de humedad del complejo de combustibles; miden la humedad de tres clases de tamaño de combustibles, los cuales tienen diferentes velocidades de desecación. Los otros tres componentes son subíndices del comportamiento del fuego; representan la velocidad de propagación, la carga del combustible disponible y la intensidad calórica de un incendio en un terreno llano. El último de todos los índices, el índice “FWI”, es simultáneamente un indicador del comportamiento y del peligro del incendio; es más utilizado como variable de salida del sistema.

Para tener un conocimiento más completo de la estructura del índice “FWI”, a continuación se describe y analiza los subíndices que lo componen.

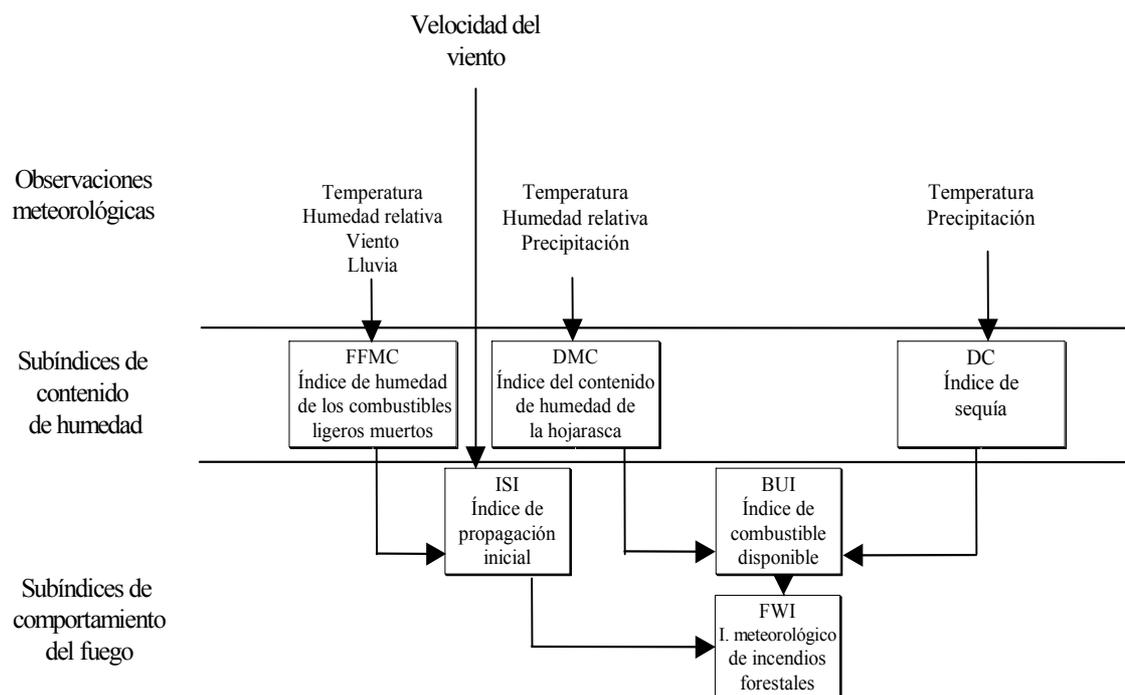


Figura 4. Estructura del Índice Meteorológico de Incendios Forestales, FWI

3.6.3.1 Subíndices del contenido de humedad

El índice “FWI” tiene tres subíndices que están relacionados con el contenido de humedad en los combustibles ligeros muertos “*Fine Fuel Moisture Code*” (FFMC), el contenido de humedad en la hojarasca “*Duff Moisture Code*” (DMC), y el subíndice de sequía “*Drought Code*” (DC). Las denominaciones de estos subíndices tienen correspondencia con la estructura típica de los combustibles de los bosques canadienses y de otras regiones en las que existe un estrato orgánico bastante desarrollado subyacente a la capa de hojarasca, hecho que no ocurre generalmente en los suelos de la España peninsular (Blanco, 2003). Cada uno de estos subíndices es calculado con los valores de los elementos meteorológicos, empleando un conjunto de fórmulas que produce un valor numérico que se incrementa con el déficit de humedad en cada uno de los estratos mencionados.

a) Código del contenido de humedad de los combustibles ligeros muertos (FFMC)

Es un subíndice numérico que expresa el contenido de humedad de los vegetales ligeros muertos dispuestos en el estrato más superficial del suelo y la facilidad de ignición y combustión del combustible ligero muerto. Cruz (2001), afirma que esta característica se puede usar como indicador de la ocurrencia de focos de incendio producida por partículas incandescentes y aumento de las posibilidades de ocurrencia de incendios causados por actividades humanas. Al estudiar este subíndice en la región central de Portugal, Viegas et. al. (2001a) encontraron una relación exponencial negativa entre el contenido de humedad de los combustibles ligeros muertos de *Eucalyptus globulus* y *Pinus pinaster* con el valor del FFMC, cumpliéndose el mismo principio físico encontrado con el material combustible de los bosques canadienses.

Insumos requeridos para su cálculo

T	Temperatura en °C
HR	Humedad relativa en %
Vv	Velocidad del viento en km./h
Pr	Precipitación de últimas 24 horas en mm

Ecuaciones básicas

Símbolo usado en las ecuaciones:

m_o	Contenido de humedad de los combustibles ligeros del día previo
m_r	Contenido de humedad de los combustibles ligeros después de la lluvia
m	Contenido de humedad de los combustibles ligeros después del drenaje
r_f	Lluvia real, FFMC
E_d	TEE (contenido de humedad de equilibrio) de los combustibles ligeros después del drenaje
E_w	TEE (contenido de humedad de equilibrio) de los combustibles ligeros después del humedecimiento
k_o	Valor intermedio de k_d
k_d	Velocidad de drenaje logarítmico, FFMC, Log10m/día
k_l	Valor intermedio de k_w
k_w	Velocidad de humedecimiento logarítmico, Log10m/día
F_o	FFMC del día previo “d-1”
F	FFMC del día “d”

I. F_o es FFMC del día previo

II. Cálculo de m_o

$$m_o = 147,2 (101 - F_o) / (59,5 + F_o)$$

IIIa. $Pr = r_f$ si $Pr \leq 0,5$ mm

$$r_f = Pr - 0,5 \text{ si } Pr > 0,5 \text{ mm}$$

IIIb. Cálculo de m_r en función de r_f y m_o

$$\text{Si } m_o \leq 150 \rightarrow m_r = m_o + 42,5 r_f (e^{-100(251 - m_o)}) (1 - e^{-6,93/r_f})$$

$$\text{Si } m_o > 150 \rightarrow m_r = m_o + 42,5 r_f (e^{-100(251 - m_o)}) (1 - e^{-6,93/r_f}) + 0,0015(m_r - 150)^2 r_f^{0,5}$$

$$\text{Si } m_r > 250 \rightarrow m_r = 250$$

IIIc. $m_r = m_o$

IV. Cálculo de E_d

$$E_d = 0,942 HR^{0,679} + 11e^{(HR-100)/10} + 0,18(21,1 - T)(1 - e^{-0,115HR})$$

- Va. Calcular k_d si $m_o > E_d$
 $k_o = 0,424[1-(HR/100)^{1,7}] + 0,0694Vv^{0,5}[1-(HR/100)^8]$
 $k_d = k_o * 0,581e^{0,0365T}$
- Vb. Cálculo de m
 $m = E_d + (m_o - E_d) * 10^{-k_d}$
- VI. E_w si $m_o < E_d$
 $E_w = 0,618HR^{0,753} + 10^{e(HR-100)/10} + 0,180,18(21,1-T)(1-e^{-0,115HR})$
- VIIa. k_w si $m_o < E_w$
 $k_l = 0,424\{1 - [(100-HR)/100]^{1,7}\} + 0,0694Vv^{0,5} \{1 - [(100-HR)/100]^8\}$
 $k_w = k_l * 0,581e^{0,0365T}$
- VIIb. Cálculo de m
 $m = E_w - (E_w - m_o) * 10^{-k_d}$
- VIII $m = m_o$ si $E_d \geq m_o \geq E_w$ m
- IX Cálculo de F como una función de m
 $F = 59,5(250-m)/(147,2+m)$

b) Código del contenido de humedad en la hojarasca (DMC)

Es un índice numérico del contenido de humedad del material vegetal de compactación media a baja, situado en el estrato medio de la capa de materia orgánica no incorporada al suelo mineral. Representa una estimación potencial de la cantidad del combustible de tamaño mediano disponible en este estrato para la combustión.

Insumos requeridos para su cálculo

- T Temperatura en °C
 HR Humedad relativa en %
 Vv Velocidad del viento en km./h

Pr Precipitación de últimas 24 horas en mm

Ecuaciones básicas

Símbolo usado en las ecuaciones:

M_o Contenido de humedad de la hojarasca del día previo
 M_r Contenido de humedad de la hojarasca después de la lluvia
 M Contenido de humedad de la hojarasca después del drenaje
 K Velocidad de drenaje logarítmico, DMC, Log10m/día
 r_e Lluvia real, DMC
 L_e Longitud efectiva del día de DMC, horas
 b Factor de la pendiente en DMC
 P_o DMC del día previo “d-1”
 P_r DMC después de la lluvia
 P DMC

Ila. $Pr = r_e$ si $Pr \leq 1,5$
 $r_e = 0,92Pr - 1,27$ si $r_o > 1,5$

Ilb. Cálculo de M_o en función de P_o
 $M_o = 20 + e^{(5,6348 - P_o/43.43)}$

Ilc. Cálculo de b

Si $P_o \leq 33$	$b = 100/(0,5 + 0,3 P_o)$
Si $33 < P_o \leq 65$	$b = 14 - 1,3 \ln P_o$
Si $P_o > 65$	$b = 6,2 \ln P_o - 17,2$

Ild. Cálculo M_r
 $M_r = M_o + 1.000r_e/(49,77 + b r_e)$

Ile. Cálculo P_r en función de M_r
 $P_r = 244,72 - 43,43 \ln (M_r - 20)$
 $P_r = 0$ si $P_r < 0$
 $P_r = P_o$

III. Buscar L_e en la siguiente Tabla:

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
L_e	6,5	7,5	9,0	12,8	13,9	13,9	12,4	10,9	9,4	8,0	7,0	6,0

IV. Cálculo de K

$$K = 1,894(T+1,1)(100-HR) L_e * 10^{-6}$$

$$T = -1,1 \text{ si } T < -1,1$$

V Cálculo de P en función de P_o

$$P = P_o + 100K$$

c) Código de sequía (DC)

Es un índice numérico del contenido de humedad del combustible ubicado en el estrato de mayor profundidad de la capa del material orgánico en descomposición, adyacente al suelo mineral más compactado. Muestra los efectos estacionales de la sequía en los combustibles de gran tamaño e indica la posibilidad de ocurrencia de incendios subterráneos y la potencialidad del combustible disponible en este estrato. Los trabajos realizados por Viegas et al. (1998), (2001) y (2001a) indican que este subíndice puede ser usado para estimar el contenido de humedad de algunas especies del estrato arbustivo (estrato responsable de la propagación de los incendios en la mayoría de los casos) de los bosques de Cataluña (España) y Coimbra (Portugal), por lo menos durante mayo a setiembre, época de incendios forestales ; así mismo, pruebas realizadas en Coimbra con el subíndice DC demostraron que el valor medio de éste constituye un buen indicador sobre la gravedad relativa de las condiciones meteorológicas de un año en comparación con los años anteriores, ya que muestra una buena correlación con la superficie afectada en todo el país (Viegas, et al., 2001). Muraro y Lawson citados por Cruz (2001), definen algunas recomendaciones a partir de los valores de DC para la liquidación de los incendios (ver Tabla 11).

Insumos requeridos para su cálculo

T	Temperatura en °C
HR	Humedad relativa en %
V _v	Velocidad del viento en km./h
Pr	Precipitación de últimas 24 horas en mm

Ecuaciones básicas

Símbolo usado en las ecuaciones:

Q	Humedad equivalente de DC, múltiplo de 0,254 mm
Q _o	Humedad equivalente de DC del día previo
Q _r	Humedad equivalente después de la lluvia
r _d	Lluvia real, DC
V	Potencial de evapotranspiración, múltiplo de 0,254 mm de agua/día
L _f	Longitud efectiva del día de DC, horas
D _o	DC del día previo “d-1”
D _r	DC después de la lluvia
D	DC

IIa. $Pr = r_d$ si $Pr \leq 2,8$
 $r_d = 0,83Pr - 1,27$ si $r_o > 1,8$

IIb. Cálculo de Q_o en función de D_o
 $Q_o = 800 e^{-D_o / 400}$

IIc. Cálculo Q_r
 $Q_r = Q_o + 3,937r_d$

IId. Cálculo D_r en función de Q_r
 $D_r = 400 \ln (800 / Q_r)$
 $D_r = 0$ si $D_r < 0$
 $D_r = D_o$

III. Buscar L_f en la siguiente Tabla:

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
L_f	-1,6	1,6	-1,6	0,9	3,8	5,8	6,4	5,0	2,4	0,4	-1,6	-1,6

IV. Cálculo de V

$$V = 0,36(T+2,8) + L_f$$

$$T = -2,8 \text{ si } T < -2,8$$

$$V = 0 \text{ si } V < 0$$

V Cálculo de D en función de D_0

$$D = D_0 + 0,5V$$

A este nivel, es necesario destacar que el valor de estos tres subíndices tiene carácter convencional, y la relación final entre el valor del índice y el contenido de humedad de un estrato de combustible va a depender de otros factores que no están contenidos en las fórmulas y deberá ser calculada en cada caso por medio de la calibración.

3.6.3.2 Subíndices del comportamiento del fuego

En el nivel intermedio de la estructura del índice FWI se encuentran dos subíndices relacionados con la propagación del incendio: el índice de propagación inicial “*Initial Spread Index*” (ISI), y el índice de combustible disponible “*Build-up Index*” (BUI). El resultado final, es una conjugación del ISI y el BUI, que se denomina Índice Meteorológico de Incendios Forestales “FWI”, Sub-sistema del CFFDRS.

a) Índice de propagación inicial (ISI).

Es un índice numérico que proporciona una estimación de la velocidad de propagación inicial esperada en el frente de llamas, en terreno llano, en ausencia de medidas de extinción, como ocurre en el estado inicial de un incendio generalmente y no considera la variabilidad del combustible. Este índice es el resultado de combinar el valor de la velocidad del viento y el contenido de humedad de los combustibles ligeros muertos, representados por el FFMC. Los

valores del ISI son dados en términos relativos, lo que significa que un mismo valor de ISI representa diferentes velocidades de propagación absoluta de acuerdo con el tipo de combustible en que el fuego se propaga; Viegas et al. (2001) afirman, que la aplicación de este índice requiere ser calibrada para el caso de combustibles particulares.

Insumos requeridos para su cálculo

T	Temperatura en °C
HR	Humedad relativa en %
Vv	Velocidad del viento en km./h
Pr	Precipitación de últimas 24 horas en mm

Ecuaciones básicas

Símbolo usado en las ecuaciones:

f(Vv) Factor de viento

f(F) Factor de la humedad del combustible fino

m Contenido de humedad de los combustibles ligeros después del drenaje

R ISI

$$I. \quad f(Vv) = e^{0,05039Vv}$$

$$I. \quad f(F) = 91,9e^{-0,1386m} [1 + m^{5,31} / (4,93 \cdot 10^7)]$$

$$II. \quad R = 0,208 f(Vv) f(F)$$

b) Índice de combustible disponible (BUI).

Es un índice numérico que estima el combustible total (partículas medias y gruesas) disponible para la combustión y la propagación. Se determina a base de la combinación de los dos subíndices restantes, DMC y DC, por lo tanto, depende del contenido de humedad de los componentes del lecho de combustibles y es acumulativo. Este subíndice se utiliza normalmente en la

planificación de las actividades de preparación de la campaña de extinción de incendios.

Insumos requeridos para su cálculo

T	Temperatura en °C
HR	Humedad relativa en %
Vv	Velocidad del viento en km./h
Pr	Precipitación de últimas 24 horas en mm

Ecuaciones básicas

Símbolo usado en las ecuaciones:

U	Índice de combustible disponible (BUI)
P	DMC
D	DC

Ia. $U = 0,8PD / (P + 0,4D)$ si $P \leq 0,4D$

Ib. $U = P - [1 - 0,8D / (P + 0,4D)] [0,92 + (0,0114P)^{1,7}]$ si $P > 0,4D$

c) Índice Meteorológico de Incendios Forestales (FWI).

Es una medida numérica del peligro de incendios debido a las condiciones meteorológicas y constituye el dato de salida que más directamente se relaciona con la probabilidad de ignición y con la peligrosidad según el comportamiento del incendio.

Al integrar un indicador de la velocidad de propagación del incendio (ISI) con un indicador del combustible disponible (BUI), el FWI es en realidad un índice de la intensidad de propagación del fuego y, por este motivo, podría ser considerado más bien como un índice de comportamiento del fuego. Pero el hecho de integrar los componentes anteriores, constituye al mismo tiempo una buena medida de la probabilidad de ignición, relacionada con el contenido de humedad de los combustibles, con la posible extensión de los incendios,

dependiendo de la velocidad de propagación (ISI), y también con la dificultad de la extinción, relacionada con la intensidad de la línea de fuego o a su equivalente, la longitud de llama.

Insumos requeridos para su cálculo

T	Temperatura en °C
HR	Humedad relativa en %
Vv	Velocidad del viento en km./h
Pr	Precipitación de últimas 24 horas en mm

Ecuaciones básicas

Símbolo usado en las ecuaciones:

f(D)	Factor de humedad de la hojarasca
R	Índice de propagación inicial (ISI)
U	Índice de combustible disponible (BUI)
B	FWI (forma intermedia)
S	FWI (forma final)

I. Cálculo de f(D)

$$f(D) = 0,626U^{0,809} + 2 \quad \text{si } U \leq 80$$

$$f(D) = 1.000 / (25 + 108,64 e^{0,023U}) \quad \text{si } U > 80$$

II Cálculo de B

$$B = 0,1 R f(D)$$

III. Cálculo de S

$$S = \text{EXP}(2,72(0,434 \ln(B))^{0,647}) \quad \text{si } B > 1$$

$$S = B \quad \text{si } B \leq 1$$

Los valores de “S” o del índice FWI son números continuos que oscilan generalmente entre 0-100, y que por razones de aplicación práctica se clasifican en cinco clases de peligro. A continuación se presenta las definiciones de cada clase basados en el concepto de intensidad del incendio y de las dificultades de extinción

para dos tipos de combustible (de pastizales y árboles) realizado por Alexander (1994):

Clase 1: Bajo

Los incendios que se inician no se pueden mantener debido a las condiciones de humedad de los combustibles superficiales. Sin embargo, la ignición puede tener lugar cerca de grandes, intensas y prolongadas fuentes de calor (fogatas abandonadas, leña inservible); el fuego resultante generalmente no se propaga mucho más adelante del punto de origen y si lo hace, el control es llevado a cabo fácilmente. Puede ser necesaria una completa extinción del incendio que arde, si hay suficiente combustible vegetal, o si el déficit de humedad es suficiente para que el fuego arda sin llamas lentamente bajo las cenizas. En términos generales se sabe que cuando el valor del código de sequía “DC” excede los 300 y/o el valor del índice de combustible disponible “BUI” es más grande que 40 se puede esperar generalmente incendios subterráneos o superficiales. Sin embargo estos valores deben ser tomados sólo como referencia ya que son para sitios bien drenados. Para otros lugares estos valores deben ser determinados teniendo en cuenta la extinción de los incendios pasados o a través de la experiencia de las quemas controladas. En esta clase de peligro la longitud de la llama es no visible.

Clase 2: Moderado

Desde el punto de vista del contenido de humedad, se considera que los combustibles pueden sostener la ignición y la combustión de tizones inflamados y no inflamados. El avance en superficie del fuego será lento. El control de este tipo de incendios es comparativamente fácil, pero pueden llegar a causar problemas, daños a los combatientes y producir costosas pérdidas, si no son extinguidos inmediatamente. Los combatientes pueden atacar el incendio directamente, alrededor del perímetro entero con sólo herramientas manuales y es posible el uso de extintores de mochila con agua. La longitud de la llama puede llegar hasta 1,3 m.

Clase 3: Alto

En esta clase de peligro es muy probable que se produzcan incendios de rápido y vigoroso avance. El estallido violento de algún incendio puede causar serios problemas. El control del incendio puede llegar a ser gradualmente más difícil si no es completado durante los primeros estados del crecimiento que sigue a la ignición. La utilización de agua bajo presión, y de bulldozers es necesaria en el frente del incendio. La longitud de la llama puede llegar a ser de 1,4 a 2,5 m.

Clase 4: Muy alto

Las condiciones del incendio llegan a ser críticas y la apariencia es de una intensa superficie de fuego con árboles ardiendo. Pueden tener lugar incendios de copas. Es posible el ataque al frente del incendio por fuerzas de tierra en sólo los primeros minutos después de que la ignición ha comenzado. El ataque al frente del incendio otro lado, algún intento de atacar la cabeza del incendio debe ser limitado a medios aéreos que dejen caer retardantes químicos de larga duración. Hasta que la severidad de las condiciones meteorológicas y la subsidencia del avance del incendio no remitan, existe incertidumbre en relación con el éxito del control de incendios. En esta clase de peligro la longitud de la llama puede llegar a ser de 2,6 a 3,5 m.

Clase 5: Extremo

La situación puede llegar a ser considerada explosiva o supercrítica. Se producirán incendios violentos con el comportamiento físico de la conflagración (rápidas velocidades de propagación, incendios de copas en bosques, producción de focos secundarios, pavesas, columnas de convección y grandes paredes de llamas). Como resultado, los incendios ponen en gran peligro a las personas y sus propiedades. El fuego saltará caminos y fajas cortafuegos ya que los incendios barren todo el paisaje. El ataque directo no es posible, dada la violencia del incendio, excepto inmediatamente después de la ignición y con extrema precaución. La única medida de control segura y efectiva será actuar en la cola y en los flancos del incendio. En esta clase de peligro la longitud de la llama es de más de 3,6 m.

De acuerdo a la estructura del índice “FWI”, éste valora la probabilidad de ignición como la propagación del incendio. Aunque, se observa que su estructura representa el estado de los combustibles muertos en tres estratos del suelo, más no presenta el estrato arbustivo vivo; sin embargo, el subíndice BUI se comporta como un indicador de la reserva de agua del suelo (Sol, 1995), representando indirectamente el estado de humedad del estrato arbustivo vivo. Así mismo, Sol (1995) afirma que toda la teoría sobre la pérdida del contenido de humedad de los combustibles está bien adaptada a diferentes climas, aún a los climas donde las lluvias aunque débiles son frecuentes, como los climas mediterráneos.

Respecto a la teoría de los subíndices del comportamiento de los incendios, es posible su adaptación a cualquier clima, ya que se fundamenta en leyes físicas universales probadas sobre 15.000 incendios experimentales, según Van Wagner, citado en WMO (1994).

Finalmente, el conocimiento de los tres niveles y de los seis subíndices del FWI no puede ser entendido y analizado recurriendo a un número solamente, sino el significado del índice y de los subíndices dependen de la sensibilidad del índice, de las condiciones específicas de una localidad y del conocimiento desarrollado a lo largo de los años por el gestor (Cruz, 2001). Algunos aspectos de su interpretación y posible aplicación en la prevención y extinción de los incendios forestales son:

- a) Los subíndices del contenido de humedad son indicadores para el planeamiento e identificación de las condiciones ideales para realizar las quemas controladas
- b) El valor medio anual del subíndice DC apoyaría las decisiones sobre la organización anual de la Campaña contra los incendios forestales, así como el proceso de toma de decisiones relativas a las necesidades de liquidación de los incendios forestales
- c) El BUI y FWI podrían ser usados en la detección y nivel de alerta de los medios de combate, es decir en la planificación de medidas de protección, y

- d) Finalmente, como el FWI y el ISI caracterizan aspectos del comportamiento del fuego, apoyarían el proceso de toma de decisiones relativa al envío de medios de primera intervención

Así, la estructura del índice FWI permite analizar el fenómeno de incendios forestales en tres niveles:

- a) Nivel I: Análisis del índice “FWI” (Peligro de ignición y comportamiento del incendio) solamente; nivel que se aborda en esta tesis
- b) Nivel II: Considera el análisis de los subíndices ISI y BUI y del índice FWI
- c) Nivel III: Analizar todos los niveles y subíndices, de acuerdo con las necesidades de los gestores.

3.7 Las estadísticas de incendios forestales en España

El disponer de la serie histórica de incendios forestales ha contribuido al desarrollo de los índices de peligro meteorológico de incendios forestales ya que permite la validación y calibración de los mismos (Capítulo 3.3) es por ello que su conocimiento y algunas cuestiones relacionadas se abordan a continuación.

En general el sistema de gestión de bases de datos, internacionalmente conocido como “*Data Base Management System*”, permite el almacenamiento de la información histórica homogeneizada relativa a los incendios forestales para su posterior análisis y toma de decisiones. España cuenta con una base de datos de incendios forestales desde 1968 (Mérida, 2000a); el tratamiento de la información desde múltiples ópticas y el análisis que explica las cifras, permite el conocimiento continuo de la evolución numérica de los incendios forestales, dando lugar a una sólida Estadística Nacional de incendios forestales.

A este nivel, conviene definir qué se entiende por incendio forestal; es el fuego que se extiende sin control sobre terreno forestal, afectando a vegetación que no estaba destinada a arder. Según el Art. 1 de la Ley de Montes de España (1957) el terreno forestal, es la tierra en la que vegetan especies arbóreas, arbustivas, de matorral o herbáceas, sea espontáneamente o procedan de siembra o plantación, siempre que no

sean características del cultivo agrícola o fueran objeto del mismo; por lo tanto, el incendio forestal no incluye la quema de rastrojos, salvo que se pase a un monte.

Desde el inicio hasta la actualidad los datos de cada incendio forestal han sido recogidos en un “parte de incendios forestales”, que ha tenido varias modificaciones; pero que, sin romper la continuidad y compatibilidad de la información, ha ido adaptándose a la evolución del conocimiento, a las necesidades, y a la incorporación de nuevas tecnologías en materia de detección y extinción de incendios forestales. En la actualidad, las estadísticas son sumamente completas, detalladas, recogen la información de los incendios que ocurren en los conatos (terrenos forestales particulares menores de una hectárea) y aún los que recorren sólo unos metros cuadrados; situación que no ocurría cuando se empezó a formar la base de datos, ya que entonces muchos incendios de montes y matorrales particulares quedaban sin registrar (Vélez, 2000a). Esta situación ha traído como consecuencia que a nivel global, el número de incendios forestales muestre una tendencia creciente a lo largo de los años, sin que ello deba interpretarse necesariamente como que los sistemas de extinción hayan fallado o sean insuficientes. Por otro lado, cuando se analiza la serie histórica del área quemada o afectada, se observa que esta tiende a disminuir notablemente, con altibajos naturales en años especialmente secos.

La mayoría de los incendios son conatos y causan pequeños daños; sin embargo, ellos ocurren frecuentemente. Por el contrario, los grandes incendios son muy poco frecuentes, pero tienen un impacto significativo sobre el sistema social, natural y económico. Los grandes incendios forestales se caracterizan por tener una superficie \geq de 500 ha, con gran intensidad y porque pueden ocurrir en extremas condiciones ambientales (Bovio y Camia, 1998).

Es importante mencionar que, aunque, la mayor parte del número de incendios son conatos, su elevado número compromete los resultados que pueden obtenerse con los medios de extinción, obligando a incrementar continuamente las inversiones en ellos, así como medidas frente a la opinión pública que cuestiona la efectividad de los sistemas de extinción y prevención. Así mismo, comúnmente el análisis de la base de datos de los incendios forestales usa la media y la varianza de la distribución del área

afectada, por ejemplo. No obstante, en esta variable un solo evento extremo puede romper la tendencia central de la distribución “área afectada” por citar un caso.

Tomando en cuenta que los pequeños y grandes incendios representan un riesgo permanente en el ámbito del estudio, así como en el resto del país, en esta investigación se les toma en cuenta para contrastarlos con los dos índices de peligro meteorológico de incendios forestales seleccionados.

5 OBJETIVOS

El objetivo general de la investigación es contribuir al conocimiento de uno de los mayores riesgos naturales en España, que conduce a la degradación de los suelos y la desertización del paisaje, como son los incendios forestales. Para ello se estudian dos índices meteorológicos de peligro de incendios forestales: el Índice de Peligro de Incendios Forestales, usado por las Administraciones españolas, y el Índice Meteorológico de Incendios Forestales canadiense, adoptado por varios países mediterráneos de Europa. Se contemplan los siguientes objetivos específicos:

- 4.1 Describir los componentes estructurales del Índice de Peligro de Incendios Forestales (IPIF) y del Índice Meteorológico de Incendios Forestales canadiense (FWI), analizando los elementos meteorológicos que usa cada método para predecir las situaciones meteorológicas de riesgo y peligro de incendios forestales
- 4.2 Estudiar el funcionamiento del Índice de Peligro de Incendios Forestales (IPIF) y del Índice Meteorológico de Incendios Forestales canadiense (FWI) en la zona Atlántica, Continental y Mediterránea de España, en la época de primavera y verano-otoño, contrastando sus valores con la ocurrencia de incendios forestales de cada zona y época estudiada

5 MÉTODO Y DISEÑO EXPERIMENTAL

5.1 Descripción de las zonas de estudio

5.6.1 Localización geográfica

Comprende tres zonas de la España peninsular: Atlántica, Continental y Mediterránea (Figura 3). En la zona Atlántica se seleccionaron tres provincias de la Comunidad Autónoma de Galicia: La Coruña, Lugo y Orense; en la zona Continental la provincia de Ávila de la Comunidad Autónoma de Castilla y León, y en la zona Mediterránea las provincias de Alicante y Valencia de la Comunidad Autónoma de Valencia.



Figura 5. Localización geográfica de las zonas de estudio

5.6.2 Elección de las zonas de estudio

Las Zonas de estudio fueron seleccionadas por la incidencia de incendios forestales [ICONA (1991-1993), Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación (1994) y DGCN (1995-2000)], por tener la cubierta forestal más importante del país y por la presencia de estaciones meteorológicas aledañas a las zonas boscosas.

Como los datos de las estaciones meteorológicas se han usado para medir los elementos meteorológicos necesarios para la realización de esta investigación, se puso especial cuidado al seleccionarlas, asegurando que hubieran contado con los sensores de los elementos meteorológicos utilizados en el estudio, estuvieran ubicados en la exposición correcta, estuvieran ajustados y que hubieran contado con personal entrenado para mantener la coherencia de las observaciones, de manera que la base de datos generada por ellos fuera lo más completa y de la mejor calidad posible.

5.6.3 Climatología

De acuerdo con Font, (2000) las zonas estudiadas pertenecen a dos climas regionales: el Clima Europeo Occidental y el clima mediterráneo. El clima Europeo Occidental se caracteriza por incluir a la Iberia siempre húmeda, con aproximadamente 1.000 mm de precipitación anual, sin veranos secos, aunque en su extremo suroccidental (Orense), existen áreas restringidas donde la precipitación es inferior a 30 mm en los meses de julio y agosto. El clima mediterráneo está presente en la mayor parte de la Península y su principal característica es tener veranos claramente secos, calurosos y largos; aunque después del estiaje, las primeras lluvias otoñales importantes suelen ser de carácter tormentoso, ocasionalmente torrenciales, capaces de provocar riadas y consecuentes inundaciones.

En el clima Europeo Occidental (clima oceánico templado) se distinguen tres Subregiones: Marítima, Semimarítima y Pirenaica. Las provincias de La Coruña y la mitad norte de Lugo pertenecen a la Subregión Marítima; mientras la parte meridional de la provincia de Lugo y la provincia de Orense pertenecen a la Subregión Semimarítima. La Subregión Marítima se caracteriza por estar expuesta a los vientos secos del Noroeste, y húmedos y cálidos del Suroeste, responsables de la precipitación que llegan a estas provincias, y en cuya distribución el factor orográfico es decisivo. Además el contraste entre los valores de las temperaturas máximas y mínimas pone de

manifiesto la vulnerabilidad de la región a las olas de frío y calor; cuando en la costa occidental, soplan los vientos del Este en verano, las características del tiempo se asemejan a las mediterráneas. Respecto a la subregión Semimarítima, las temperaturas medias en invierno son alrededor de 2°C más bajas que en la Región de clima mediterráneo, mientras en el verano las superan en unos 2,5°C, a igualdad de altitud, salvo en la meseta lucense, donde el bajo relieve del Norte de Galicia, no es obstáculo suficiente para impedir que en el verano la influencia de los vientos del Norte penetre tierra adentro suavizando las temperaturas. La oscilación anual y diurna de la temperatura es notablemente mayor que en la subregión Marítima, produciéndose olas de frío y calor. Las temperaturas frías se muestran especialmente severas en lugares con mayores altitudes, registrándose valores extremos inferiores a -10°C. Así mismo, las temperaturas máximas, son sorprendentemente altas en la provincia de Lugo (41,2°C) y Orense (43,6°C). Los detalles climáticos de cada provincia se presentan en la Tabla 12.

Por otro lado, en el clima mediterráneo se distinguen tres subregiones: Atlántica, Continental y Mediterránea. La provincia de Ávila pertenece a la subregión Continental, la cual se caracteriza por el largo frío de invierno y veranos cálidos; los periodos más fríos suelen presentarse asociados a invasiones de aire continental del Nor Este, registrándose la temperatura mínima extrema de -13°C en el borde occidental hasta temperaturas inferiores a -20°C en Ávila. Así mismo, las heladas son muy frecuentes pudiendo presentarse desde finales de octubre a primeros de mayo, en la Tabla 12 se puede apreciar que Ávila presenta el mayor número medio de días de heladas al año de todas las provincias estudiadas. Es importante destacar que a pesar de la frecuencia de las heladas y de la amplitud de la variación diurna de la temperatura, los números de días al año de escarcha y rocío son relativamente bajos, lo cual es consecuencia de la insuficiente humedad del aire. Mientras, la Subregión Mediterránea, específicamente la zona del Levante, se caracteriza porque el invierno es poco definido (esporádico e irregular), presentándose por invasiones de aire frío continental. Mientras el verano está muy influenciado por las brisas y la circulación monzónica que, con cierta frecuencia, se combina con la irrupción de masas de aire caliente de origen africano, alcanzando valores extremos que superan los 40°C, incluso por encima de la latitud 40°N (Castellón); estas son más frecuentes en agosto lo que se explica porque en este mes la temperatura media supera a la de julio. A esta subregión pertenece la provincia de Valencia y la parte norte de Alicante. Finalmente, la mitad meridional de la provincia

Tabla 12. Resumen de los valores normales climatológicos medios y extremos de las provincias estudiadas

Elementos climáticos	Valores medios y extremos	Provincias					
		Coruña ¹	Lugo ²	Orense ³	Avila ⁴	Alicante ⁵	Valencia ⁶
		Valor Mes	Valor Mes	Valor Mes	Valor Mes	Valor Mes	Valor Mes
Temperatura del aire (°C)	Promedio anual	13,9	11,0	14,0	10,4	18,0	16,9
	Media mensual máx.	17,3	17,3 A	21,8 Ju	20,0 Ju	26,0 A	24,5 A
	Media mensual mín.	10,5	5,8 E	7,0 E	2,4 E	11,0 E	10,3 E
	Máxima absoluta	39,6	38,0 A	38,0 Ju	36,5 Ju	41,3 Ju	41,7 Ju
	Mínima absoluta	-4,0	-13,0 E	-7,4 D	-20,4 E	-4,6 F	-7,2 F
Humedad relativa (%)	Promedio anual	79,0	80,0	70,0	64,0	65,0	74,0
	Media mensual máx.	81,0 S y O	86,0 D	80,0 D	82,0 E	69,0 O	74,0 S y O
	Media mensual mín.	77,0 F y M	75,0 Ju	61,0 Ju	42,0 Ju	61,0 Ju	67,0 My
Precipitación (mm)	Promedio anual	970,7	1.136,0	791,4	363,7	340,0	423,1
	Max. mensual abs.	399,6 D	415,3 E	270,0 F	331,0 My	59,4 O	87,3 O
	Mín. mensual abs.	29,4 Ju	103,7 D	44,7 Ju	54,5 Ju	285,1 S	365,6 Ju
	Máxima diaria	91,4 D	72,0 A	80,8 N	63,0 A	133,8 Ju	280,7 N
	Forma (días):						
	lluvia	194,0	186,8	112,2	95,3	90,5	93,3
	nieve	0,9	7,4	0,5	18,3	0,2	0,8
	granizo	8,5	6,4	0,6	5,1	119,1	0,9
Viento (Km/h)	Media anual **	104,0	99,8	-	70,0	105,0	87,0
	Racha máxima	137,0	144,0	-	78,0	152,0	124,0
	Dirección día	N	SW y NE	NE y SW	N	E	SE
	Dirección noche	NE y SW	SW	-	S	NW	SW
	Máx. recor.(km)	2.641,0	1.463,0	678,0	1.257,0	1.435,0	1.668,0
	Rec medio día. (km)	463,0 Ju	281,2	97,0	232,0	228,0	232,0
Heladas (días)	Media anual (días)	0,8 D	43,8	22,5*	80,1	1,7	3,6
	Primeras		3° déc. O*	2° déc. N	3° déc. O	2° déc. E	1° déc. E
	Últimas		2° y 3°N, y 2° D				
Niebla (días)	Promedio anual	44,8	82,7	56,4	20,2	5,6	16,6
	Media mensual máx.	65,0 Ju	10,4 S	12,5 D	4,3 E	1,2 M	2,4 M
	Media mensual mín.	42,0 A	3,8 A	0,7 Ju	0,2 Ju	0,1 D y J	0,7 S
Rocio (días)	Promedio anual	16,4	123,8	9,0	32,4	10,1	65,1
	Media mensual máx.	3,0 N	13,7 Jy, J	1,4 M	3,8 N	2,0 E	6,9 Ju
	Media mensual mín.	0,4 A	4,8 E	0,0 Ju	0,8 Ju	0,0 Ju	2,4 E
Escarcha (días)	Promedio anual	1,9***	37,7	16,6	62,7	1,0	3,4
	Media mensual máx	-	8,7 E	5,6	13,4 E	0,6 E	1,6 E
	No aparecen	-	J a S	My a S	J-Ju-Ag	M a N	A a N
Insolación (horas)	Promedio anual	2.046,0	1.910,1	1.764,9	2.749,0	2.974,0	2.631,0
	Media mensual máx.	265,0 Ju	258,0 Ju	255,8 Ju	384,0 Ju	358,0 Ju	329,0 Ju
	Media mensual mín.	84,0 D	76,2 D	51,4 D	127,0 D	171,0 D	142,0 D
Nubosidad	Días despejados	44,2	27,6	66,9	76,2	92,2	81,8
	Días nubosos	180,3	172,0	147,2	218,1	215,6	218,2
	días cubiertos	140,8	165,4	150,9	70,8	57,2	62,5

1 = Roldan (1985)
2 = Sousa (1988)
3 = Sousa (1988a)

4 = Roldan (1987)
5 = Roldan (1987a)
6 = Roldan (1985a)

* = De A a O no hay heladas
** = De la racha máxima
*** = Sólo en F, N y D
Ju = Julio

de Alicante pertenece a la Subregión Mediterránea Sudeste, que principalmente se diferencia de la Subregión Mediterránea de Levante por tener el mínimo pluviométrico de Europa, que asociado a la irregularidad y variabilidad del régimen pluviométrico, propio del clima Mediterráneo, crea un evidente riesgo de desertización.

5.6.4 Los suelos

Las diferentes características climáticas de las zonas estudiadas determinan las variadas características de los suelos; Gandullo (1998) ha logrado determinar 11 perfiles de suelos en la España peninsular. Afirma que en las zonas más áridas españolas (provincias de Alicante y Valencia, por ejemplo) se aprecia un perfil de suelo caracterizado por un horizonte A, de 0 a 25 cm de profundidad, moderadamente básico a pesar de la naturaleza silíceo de la roca y con porcentaje húmico inferior al 2%. Por debajo de él, se encuentra una capa de transición, A/C, a la roca madre. De acuerdo con la clasificación FAO (1988) se corresponde con un *Leptosol éútrico*. Por otro lado, el 90% de los suelos de la Provincia de Ávila son *Inceptisoles* y el 10% restante son *Aridisoles*, *Mollisoles*, y *Vertisoles*, es decir, son suelos pobres y poco evolucionados debido al carácter montañoso de un sector, y a la sedimentación arcilloso-arenosa del sector llano. Los *Inceptisoles* se caracterizan porque el perfil es de tipo A/(B)/C; pueden ser de origen granito gneis, de pizarras, y de sedimentos terciarios y cuaternario. En el perfil de todos ellos se nota la ausencia del horizonte A₀, es decir, son suelos pobres en materia orgánica y el pH varía de ácido, a neutro y alcalino (Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación, 1994). Finalmente, los perfiles de suelos que predominan en las provincias de La Coruña, Lugo y Orense son del tipo *Regosol dístrico*, *Cambisol* y *Litosol*, en términos generales. El *Regosol dístrico* predomina en las estribaciones montañosas, son los más abundantes en el área forestal y se caracterizan por tener una profundidad menor de 50 cm, pero están bien provistos de cationes y bases de intercambio, por lo que su fertilidad forestal o pratense es muy destacable. Mientras los *Cambisoles* (tierras pardas de valles) se ubican en las áreas centrales, son suelos poco evolucionados a causa de la temperatura de montaña, la intensidad erosiva de las lluvias y frecuentemente *Cambisoles gleycos*. Los *Litosoles* son propios de las tierras erosionadas, normalmente por su pendiente, proximidad a la roca madre y escaso horizonte de acumulación orgánica, los hacen poco valiosos como soporte de vida vegetal arbórea.

En conjunto, los perfiles de los suelos de las zonas estudiadas se caracterizan por la acumulación de combustibles ligeros sin descomponer en la superficie del suelo, característica más notoria en el Norte que en el Sur de la Península. Según Blanco (2003) la capa de materia orgánica de la zona Atlántica es 10cm, 5cm en la Continental y \leq a 2,5 cm en la Mediterránea, en promedio. Dado que el combustible forestal ligero muerto en grandes extensiones incrementa la probabilidad de que tanto las acciones humanas negligentes o intencionadas, como los rayos, originen incendios forestales, esta descripción general indica la potencialidad de los incendios en las zonas y provincias estudiadas.

5.6.5 Vegetación

La diferencia de climas y de suelos determina la actual composición florística en la Península, aunque en gran parte está influenciada por la acción humana en el transcurso del proceso histórico y la evolución económica de las comunidades peninsulares (Tabla 13); de modo que la vegetación arbórea de las zonas de estudio está dominada por el pino rodeno (*Pinus pinaster*), especie de hoja perenne, seguida por el pino carrasco (*Pinus halepensis*), especie particularmente importante en las provincias de Alicante y Valencia, debido a su resistencia a la sequía y a los incendios (Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación, 1995). Entre las especies arbóreas más resistentes al calor y a la quía están la encina (*Quercus ilex*), el alcornoque (*Quercus suber*), la coscoja (*Quercus coccifera*) y a mayores alturas aparecen los robledales (*Quercus pyrenaica*) y otras especies de maderas duras o resinosas (Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación, 1995 y Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación 1995a).

Además de las especies arbóreas que constituyen la cubierta forestal, es importante considerar las especies arbustivas y herbáceas que forman parte de los ecosistemas forestales peninsulares, y son responsables de la propagación de los incendios forestales en su fase inicial. La comunidad arbustiva está dominada por el madroño (*Arbutus unedo*), el brezo (*Calluna vulgaris*), *Chamaespartium tridentatum*, y la aulaga verde (*Ulex parviflorus*) (Trabaud et. al., 1993).; a mayores altitudes el matorral desaparece dando lugar a asociaciones de arándano (*Vaccinium myrtillus*), tojo (*Ulex gallii*) y piornos (*Cytisus sp.*), así como a pastizales abiertos formados por *Festuca indigesta*, *Deschampsia flexuosa* y *Agrostis trucatula* principalmente. Mientras la comunidad herbácea, se encuentra ampliamente representada en las diferentes

comunidades de matorral mediterráneo denominada “garriga”, que generalmente cubre los terrenos no cultivados con menos de 500 mm de precipitación media anual; está dominada por brezos (*Erica arborea* y *Calluna vulgaris*), la jara (*Cistus ladanifer*), la aulaga negra (*Genista sp*), el lentisco (*Pistacea lentiscus*) y el romero (*Rosmarinus officinalis*) entre otros (Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación, 1994; DGCN, 2002a; DGCN, 2002b; DGCN, 2002c, Baeza, 2001).

Tabla 13. Especies forestales con mayor presencia (ha) en las provincias estudiadas

Nombre científico	ATLÁNTICA		CONTINENTAL	MEDITERRÁNEA		TOTAL		
	La Coruña*	Lugo		Orense	Avila	Alicante	Valencia	(ha)
<i>Pinus pinaster</i>	81.602,56	40.380,48	78.772,27	54.845,18		32.551,18	288.151,67	19,57
<i>Pinus radiata</i>	16.280,60	9.985,82					26.266,42	1,78
<i>Pinus silvestris</i>		33.944,50		16.505,14			50.449,64	3,43
<i>Pinus pinea</i>				13.460,73			13.460,73	0,91
<i>Pinus halepensis</i>					49.373,93	194.317,79	243.691,72	16,55
<i>Quercus robur</i>	10.795,11						10.795,11	0,73
<i>Quercus pyrenaica (matorral)</i>			19.432,92	15.521,39			34.954,31	2,37
<i>Quercus ilex</i>				29.387,65			29.387,65	2,00
<i>Quercus sp. y Castanea sativa</i>			14.347,20				14.347,20	0,97
<i>Quercus robur y frondosas</i>	16.655,57						16.655,57	1,13
<i>P. pinaster y E. globulus</i>	115.068,19						115.068,19	7,82
<i>P. pinaster y frondosas</i>	37.982,25						37.982,25	2,58
<i>Eucalyptus globulus</i>	8.988,00						8.988,00	0,61
<i>Eucalyptus sp.</i>		8.367,91					8.367,91	0,57
Otros pinos			24.124,20				24.124,20	1,64
Matorral ralo y disperso	29.713,77						29.713,77	2,02
Eucalipto y pino		31.392,91					31.392,91	2,13
Coníferas y frondosas		105.065,12	28.281,24				133.346,36	9,06
Mezcla de frondosas		13.627,30					13.627,30	0,93
Otras especies y mezclas		125.812,24	33.291,27		9.317,04		168.420,55	11,44
Matorral arbolado ralo				28.410,78	26.744,57	54.675,32	109.830,67	7,46
Árboles quemados					2.971,41	60.337,89	63.309,30	4,30
Total							1.472.331,43	100,00

5.2 Representatividad de los resultados

El análisis del funcionamiento del Índice de Peligro de Incendios Forestales (IPIF) y del Índice Meteorológico de Incendios Forestales Canadiense (FWI) en relación con la ocurrencia de incendios forestales arroja resultados representativos de 25.079,50 km² de la zona Atlántica; 8.015,15 km² de la zona Continental y 16.592,82 km² de la zona Mediterránea, ya que fueron sometidos a estimadores estadísticos de precisión (paramétricos y no paramétricos).

5.3 Base de datos meteorológica

La muestra de las estaciones meteorológicas, cuyas observaciones diarias constituyen la base de datos sobre las cuales se apoyará el resto de la investigación comprende tres estaciones ubicadas una a una en las provincias de La Coruña, Lugo y Orense respectivamente, para la zona Atlántica; dos estaciones en la zona Continental donde se eligieron dos estaciones en la provincia de Ávila, debido a la orografía de esta zona; una estación meteorológica ubicada dentro de la provincia de Alicante y otra en Valencia, para caracterizar la zona Mediterránea. La Tabla 14 muestra la localización y descripción de las estaciones meteorológicas de cada zona de estudio. De acuerdo con los estudios de Manta et al. (2002), se considera que una estación meteorológica aun ubicada fuera de las áreas boscosas puede representar el clima medio de incendios forestales de un lugar, dado que el origen de los incendios en la Cuenca Mediterránea es principalmente humano, y no de origen natural como en otras latitudes; por lo tanto, es posible trabajar con las bases de datos de las estaciones meteorológicas principales y automáticas de los Servicios Meteorológicos.

Tabla 14 . Localización y descripción de las estaciones meteorológicas

Nombre de la estación meteorológica	Tipo de estación	Zona climática	Ubicación provincial	Latitud (N)	Longitud (W)	Elevación (m)	Inicio del estudio*	Nº de registros
S.Compostela "Labacolla"	Principal	Atlántica	La Coruña	42°53'58"	08°25'37"	364	01/05/91	1.840
Rozas "Aeródromo"	Principal	Atlántica	Lugo	43°06'55"	07°27'22"	444	01/05/91	1.840
Carballino "Mesiego"	Automática	Atlántica	Orense	42°25'10"	08°05'12"	400	01/05/94	1.288
Avila	Principal	Continental	Avila	40°39'20"	04°14'52"	1.130	01/06/91	1.790
Piedra Hita	Automática	Continental	Avila	40°27'50"	05°19'42"	1.060	03/07/93	1.280
Cocentaina "Bomberos"	Automática	Mediterránea	Alicante	38°42'40"	00°27'57"	560	01/05/92	1.492
Utiel "La Cubera "	Automática	Mediterránea	Valencia	39°34'42"	01°14'55"	780	01/05/91	1.505

* = la fecha de término del periodo de estudio fue el 31/10/00 en todas las provincias estudiadas

El material utilizado ha sido la colección de las observaciones diarias de los siguientes elementos meteorológicos:

- La temperatura del aire en grados centígrados (del bulbo seco, T °C)
- La humedad relativa del aire en porcentaje (HR, %)
- La velocidad del viento a 10 metros del suelo en kilómetros por hora (Vv, km./h)

d) La Precipitación de las últimas 24 horas en milímetros (Pr, mm)

Se eligieron los elementos registrados a las 12 horas UTC, equivalente a las 13:00 y 14:00 horas de la hora oficial en invierno y de verano en España respectivamente (García, 1985), a excepción de la precipitación cuyo registros horarios fueron sumados.

El tratamiento de los datos consistió en ordenar cronológicamente los valores de los elementos meteorológicos en cada provincia, para ello hubo que homogeneizar los formatos digitales propios de las estaciones principales y automáticas, haciéndolas accesibles en hojas Excel. Luego se procedió a uniformizar las unidades de la temperatura, precipitación y viento, elementos meteorológicos que fueron enviados con unidades diferentes. En el caso de la precipitación se acumuló la lluvia horaria de las 12 horas del día anterior a las 12 horas UTC del día siguiente, obteniéndose precipitaciones de las últimas 24 horas (de 13:00 a 13:00 horas en invierno y de 14:00 a 14:00 horas en verano). Cuando el valor de algún elemento meteorológico no estuvo disponible en tres días consecutivos como máximo, se completó por medio de interpolación lineal temporal. Si la indisponibilidad superó los tres días, la base de datos empezó en la semana, mes o año donde los datos fueron consecutivos. Una vez tratada la información de cada elemento meteorológico se elaboró la base de datos final de cada provincia (Anexo 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8). El tratamiento de los datos meteorológicos se realizó usando el programa Excel 2000.

Para la obtención de las bases de datos meteorológicas de cada provincia se recurrió al Instituto Nacional de Meteorología, quién donó la información para el periodo comprendido entre el 1 de mayo al 31 de octubre de 1991 a 2000. La provincia de Ávila presenta dos bases de datos debido a la presencia de dos estaciones meteorológicas: Ávila y Piedra Hita. El periodo del estudio evalúa la época de incendios forestales en España, esto es, la primavera, el verano, y parte del otoño, porque en las provincias del Noroeste, los incendios ocurren indistintamente a lo largo del año, aunque con menor frecuencia en el invierno.

5.4 Base de datos de incendios forestales

Para la caracterización del funcionamiento de los índices se consideró necesario utilizar: el número diario de incendios forestales y el área diaria afectada,

correspondiente al periodo 1 de mayo al 31 de octubre del año 1991 al año 2000, de cada provincia estudiada (Anexo 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10). La base de datos empleada fue obtenida en formato digital (Excel 2000) del Área de Defensa Contra Incendios Forestales de la DGCN, lo que simplificó el tratamiento de los datos.

El tratamiento de la base de datos consistió en ordenar cronológicamente los incendios forestales para cada provincia, luego se acumuló el número de incendios y el área quemada para una misma fecha. Los incendios que duraron varios días fueron considerados como un solo suceso, pero el área quemada fue considerada separadamente día a día. Así mismo, los días con un incendio y cero ha (0,00) de superficie afectada, fueron considerados con la mínima superficie (0,01 ha) para representar su ocurrencia. En las fechas sin incendios se asignó el valor cero tanto para el número de incendios como para el área afectada. El tratamiento de la base de datos se realizó por medio del programa Excel 2000 y Micro-SAS versión 8.2.

5.5 La estructura de los índices IPIF y FWI

La descripción de la estructura se realizó acudiendo a fuentes de información primaria y secundaria externa. La fuente de información primaria la constituyó la documentación del Área de Defensa Contra Incendios Forestales de la DGCN de España, y el Servicio Forestal de Canadá. Mientras la información secundaria fue recabada a través de mensajes electrónicos con los investigadores que trabajaron en los últimos 10 años con ambos índices en Francia (Meteo France), Italia (Universita' Degli Studi Di Torino) y Portugal (Universidad de Coimbra e Instituto de Meteorología). Así mismo, se revisaron artículos y documentos relacionados.

5.6 El funcionamiento de los índices IPIF y FWI

Las condiciones climáticas varían según provincias estudiadas (espacio) y tiempo (estaciones del año), y afectan los valores diarios de los índices "IPIF" y "FWI", y la ocurrencia de incendios forestales (número de incendios diarios y área diaria afectada). Por ello la base de datos fue estratificada analizando el periodo total de días (1 de mayo al 31 de octubre), los días de primavera (1 mayo al 23 de junio) y los días del verano y otoño juntos (24 de junio a 31 de octubre) en cada provincia estudiada.

De acuerdo con la naturaleza experimental de la investigación, fue necesario comprobar que la sensibilidad de ambos índices para discriminar días potencialmente favorables al inicio y propagación de los incendios forestales, no obedecían a causas aleatorias, sino a causas deterministas como la meteorología.. Por ello, los valores diarios de cada índice fueron contrastados con datos reales de número y área afectada diaria por incendios forestales. Los programas que se utilizaron para realizar los contrastes estadísticos fueron “Stat Graphics Plus” versión 5,0 y “Micro-SAS”, versión 8.2 ejecutados en un ordenador PC-2002.

Para cubrir el rango de ocurrencia anual e interanual de los valores de los índices IPIG y FWI, número de incendios y área afectada por incendios forestales, y dotar de representación estadística a los resultados, se estudió un periodo de 10 años consecutivos en la mayoría de las provincias estudiadas.

5.6.1 Cálculo de los valores diarios de los índices IPIF y FWI

Como los índices IPIF y FWI tienen diferentes categorías de peligro (Capítulo 3.5 y 3.6), esto es, se clasifican en cuatro y cinco categorías de peligro respectivamente, se utilizó el valor numérico diario de cada índice y no las categorías de peligro pre definidas. En el caso del índice IPIF, el cálculo se realizó hasta el Índice de Probabilidad de Ignición (IPIG) para que pueda ser comparado con los valores numéricos diarios del índice FWI.

5.6.1.1 Cálculo del Índice de Probabilidad de Ignición (IPIG)

Para estimar los valores diarios del índice IPIG se siguió el método de cálculo del INM (2002), descrito en el Capítulo 3.5, hasta la parte correspondiente al índice IPIG. Los insumos requeridos para su cálculo fueron:

- a) Temperatura del aire en grados centígrados (del bulbo seco, T °C)
- b) Humedad relativa del aire en porcentaje (HR, %)
- c) Sombra del terreno, menor a 50%, es decir, terrenos expuestos
- d) Pendiente del terreno, constante
- e) Orientación de la pendiente, constante
- f) Hora de registro de los elementos meteorológicos 12 horas UTC

Dado el elevado número de días estudiados y dos elementos meteorológicos analizados, el procedimiento manual fue automatizado mediante el programa “Risco” escrito en lenguaje Qbasic (Ferreira, 2002), cuyo detalle se presenta en el Anexo 2. El programa fue ejecutado en un ordenador PC-2002.

5.6.1.2 Cálculo del Índice Meteorológico de Incendios Forestales (FWI)

La base del índice FWI es la estimación del contenido de humedad del complejo de combustibles forestales muertos, por lo tanto, la inflamabilidad del complejo de combustibles depende del tiempo atmosférico y de su efecto acumulativo sobre los mismos; así, este índice requiere los siguientes insumos para su cálculo

- a) La temperatura del aire en grados centígrados (del bulbo seco, T °C)
- b) La humedad relativa del aire en porcentaje (HR, %)
- c) La velocidad del viento a 10 metros del suelo en kilómetros por hora (V_v , km./h)
- d) La Precipitación de las últimas 24 horas en milímetros (Pr, mm)
- e) Hora de registro de los elementos meteorológicos 12 horas UTC

Con esta información se siguió el método desarrollado por Van Wagner (1987), obteniéndose los valores diarios de los Subíndices del FWI y del índice FWI:

FFMC: Código de humedad de los combustibles ligeros muertos

DMC : Código de humedad de la hojarasca

DC : Código de sequía

ISI : Código de propagación inicial

BUI : Índice de combustible disponible

FWI : Índice Meteorológico de Incendios Forestales

El índice FWI es el resultado de la integración de los Subíndices a través de las ecuaciones descritas (Capítulo 3.6), cuyo funcionamiento es motivo de la presente investigación.

Por la voluminosa base de datos meteorológica y el número de días estudiados, el cálculo del índice FWI fue automatizado a través del programa “Canq” escrito en

lenguaje Qbasic por Ferreira (2002); detalles del programa se presenta en el Anexo 3. El programa fue ejecutado en un ordenador PC-2002.

5.6.2 Descripción estadística de los índices IPIF y FWI

5.6.2.1 Intervalos de clase

Los valores diarios de los índices IPIG y FWI fueron ordenados de menor a mayor y agrupados en 10 clases limitadas por (0-10], (10-20], (20-30], (30-40], (40-50], (50-60], (60-70], (70-80], (80-90], y (90-100] respectivamente. Para cada índice se calculó y dibujó:

- a) La frecuencia absoluta
- b) La frecuencia relativa, y
- c) El histograma de frecuencia absoluta,

Con la finalidad de analizar la forma de distribución de las poblaciones en todo el periodo, en los días de primavera y en los días de verano y otoño, en cada provincia estudiada. Así mismo, los intervalos de clases se analizan de acuerdo a categorías de peligro más comúnmente empleadas en la gestión contra incendios forestales (Chandler, 1983), esto es: baja (de 0 a 20), moderada (de 20 a 40), alta (de 40 a 60), muy alta (de 60 a 80) y extrema (de 80 a 100).

5.6.2.2 Medidas estadísticas características de los índices IPIG y FWI

La descripción estadística de las variables IPIG y FWI, se realizó a través de las medidas estadísticas resumen de centralización y de dispersión de cada índice, calculando:

- a) El promedio
- b) La mediana
- c) La moda
- d) La desviación estándar
- e) El coeficiente de variación

El cálculo se realizó para el total de días, para los días de primavera, y los de verano-otoño, en cada provincia estudiada.

5.6.2.3 Medidas estadísticas de la ocurrencia de incendios forestales

Como los índices IPIG y FWI son contrastados con las variables “número de incendios diarios” y “área diaria afectada” se determinaron las medidas estadísticas de centralización y dispersión siguientes:

- a) El promedio
- b) La mediana
- c) La moda
- d) La desviación estándar
- e) El coeficiente de variación

El cálculo se realizó para el total de días, para los días de primavera, y los de verano-otoño, en cada provincia estudiada.

5.6.2.4 Prueba de bondad de ajuste a una distribución normal de las variables “IPIG”, “FWI”, “número de incendios diarios” y “área diaria afectada”

Las pruebas de bondad de ajuste a una distribución normal de las variables estudiadas permiten definir el método estadístico apropiado para asegurar con cierto nivel de confianza que las diferencias en la sensibilidad de los índices IPIG y FWI frente a la ocurrencia de incendios forestales no se deben al azar.

Cuando se usan métodos paramétricos de inferencia estadística basados en la hipótesis de que la población de una variable se ajusta a una distribución normal, aunque válidos, resultan poco precisos cuando la hipótesis no es cierta, produciéndose contrastes de baja potencia o con grandes intervalos de confianza. Por este motivo se realizó la prueba de bondad de ajuste a una distribución normal para las variables “índices IPIG”, “índice FWI”, “número de incendios diarios” y “área diaria afectada” en cada provincia estudiada.

Para la variable IPIG, se aplicó el contraste de χ^2 Pearson por ser discreta, contar con una muestra grande (≥ 100) y formar un número adecuado de clases para llevar a cabo el contraste de normalidad, de acuerdo a la metodología de Peña (1989) y Wilks (1995). La prueba de hipótesis compara las frecuencias observadas en un histograma, con las especificadas por el modelo teórico, normal, en este caso. El estadístico de contraste responde a la siguiente ecuación:

$$\chi^2 = \sum (O_j - E_j)^2 / E_j$$

Donde:

χ^2 = Ji cuadrado calculado. El valor se compara con el χ^2 tabular

O_j = Frecuencia observada del índice español para la clase equiprobable “j”

E_j = Frecuencias esperadas del índice español para la clase equiprobable “j”

El χ^2 tabular, se obtiene con un nivel de significación “ α ” igual a 1% y K-S-1 grados de libertad, donde S es el número de parámetros estimados. Para la hipótesis de normalidad, S es igual a 2 porque se estima a μ y σ a partir de los datos muestrales

Si el χ^2 calculado es menor que el χ^2 tabular entonces se acepta la hipótesis de que la variable IPIG provenga de una distribución normal a un nivel de confianza estadística del 99%.

En el caso de la variable FWI, se aplicó el contraste de Kolmogorov-Smirnov, versión modificada de Lilliefors, por ser una variable continua y el tamaño de la muestra grande ($n > 100$); el contraste compara la función de distribución empírica con la distribución normal, siguiendo la metodología de Peña (1989) y Wiks (1995). El estadístico de contraste responde a la siguiente expresión:

$$D_n = \sup |F_n(x) - F(x)|$$

Donde:

D_n = Estadístico que calcula la máxima distancia entre la distribución empírica acumulada de la variable FWI y la frecuencia acumulada

de la distribución normal ajustada a los datos muestrales

$F_n(x)$ = Es la distribución empírica (muestra de la variable FWI)

$F(x)$ = Es la distribución normal (teórica) que queremos contrastar

El contraste se efectúa calculando el estadístico D_n y rechazando la hipótesis de normalidad cuando el valor D_n es significativamente grande, es decir, mayor que el valor “D” dado por las tablas, a un nivel de confianza del 99% y K grados de libertad. K es igual al número de clases formadas.

En el caso de la variable “número de incendios diarios” pareciera que si el riesgo o peligro de que se produzca un incendio un día fuera igual al de otro cualquiera, es decir, que si esta variable se correspondiese con el hecho de que fuera un proceso aleatorio, como tal podría ser explicado por el proceso de Poisson, cuyo estadístico según Ríos (1973) responde a la siguiente ecuación:

$$P(x = r) = (\lambda^r / r!) e^{-\lambda}$$

Donde:

P = Valor de la probabilidad de que ocurra un número “x” de incendios

x = Número diario de incendios

r = 0, 1, 2, 3 incendios

λ = Media muestral. Se obtiene a partir de la frecuencia observada

multiplicadas por el número de incendios, dividido por el total de la muestra

e = 2,71828 (base de logaritmos neperianos)

Sin embargo, de acuerdo con los histogramas de frecuencia absoluta de las poblaciones “número de incendios diario” en las provincias (Figura 6), se puede constatar que hay variables externas que determinan que un día cualquiera tenga una mayor o menor probabilidad de que ocurra un número “x” de incendios. Entre las variables externas que explicarían este fenómeno se destacan las condiciones meteorológicas en relación con los incendios forestales. Para valorar este efecto se realizó la prueba de bondad de ajuste a una distribución de Poisson, aplicando el mismo estadístico que para el índice IPIG, es decir, el contraste de χ^2 Pearson:

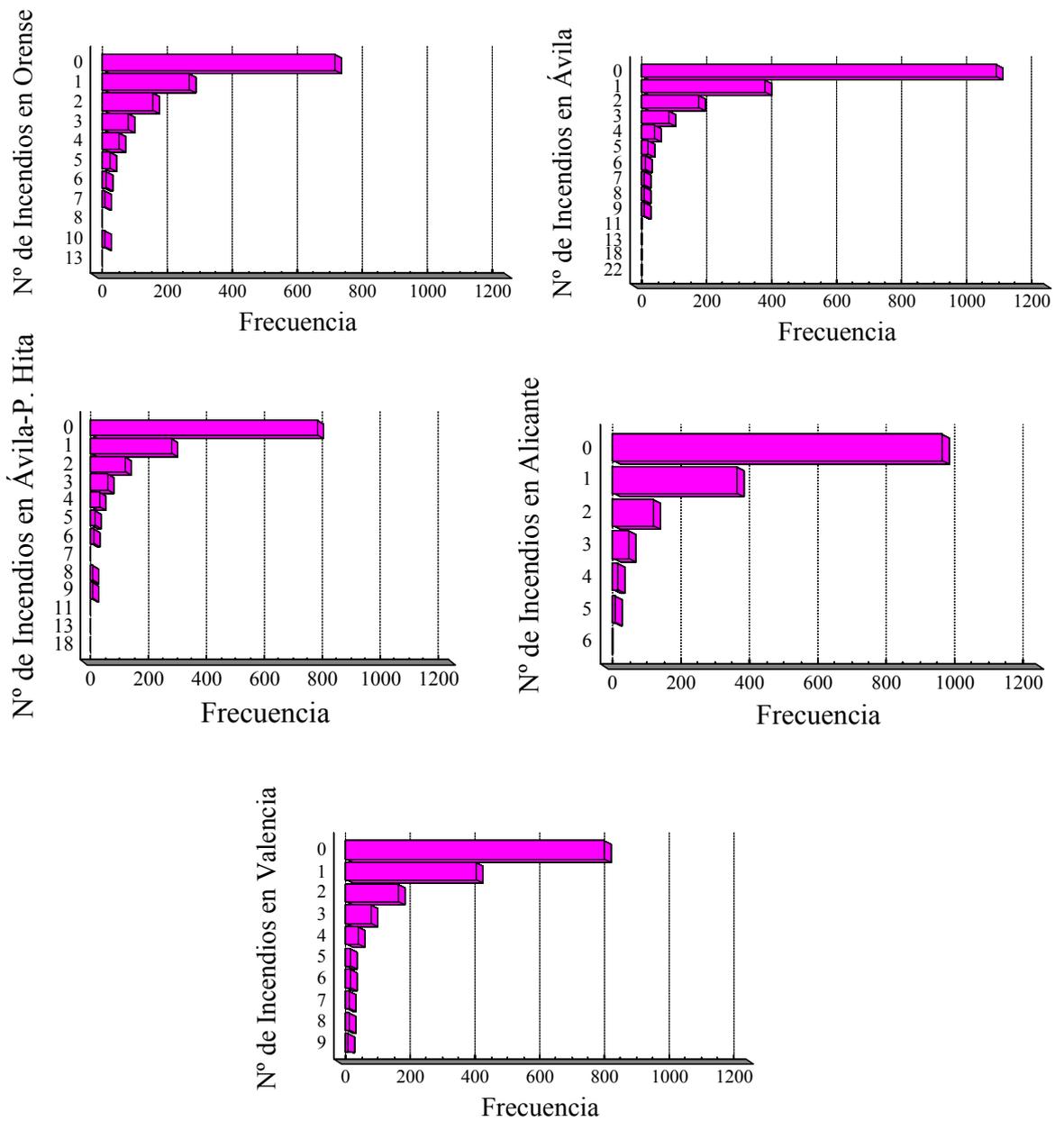


Figura 6. Número de días observados (Frecuencia) con diferente número de incendios diarios en todo el periodo de estudio de cada provincia (*).

$$\chi^2 = \sum (O_j - E_j)^2 / E_j$$

Donde:

χ^2 = Ji cuadrado calculado. El valor se compara con el χ^2 tabular

O_j = Frecuencias observadas del número diario de incendios en la clase equiprobable "j"

(*) Las figuras de la provincia de La Coruña y Lugo no se las presenta porque existe más de 20 clases, pero tienen el mismo comportamiento

E_j = Frecuencias esperadas del número diario de incendios en la clase equiprobable “j”

El χ^2 tabular, se obtiene con un “ α ” igual a 1% y K-S-1 grados de libertad; S es el número de parámetros estimados. Para la hipótesis de ajuste con la distribución de Poisson, S es igual a 1 porque se estima λ a partir de datos muestrales.

Si χ^2 calculado es menor que χ^2 tabular entonces se acepta la hipótesis de que la población “numero de incendios diario” tiene una distribución de Poisson a un nivel de confianza estadística del 99%.

Finalmente, para la variable “área diaria afectada por incendios forestales” se aplica el contraste de Kolmogorov-Smirnov, versión modificada de Lilliefors, ya que la variable tiene una distribución muy sesgada (muchos incendios pequeños y raramente la ocurrencia de algunos grandes incendios); además es una variable continua y el tamaño de la muestra es grande ($n > 100$). El estadístico usado es el mismo que para el índice FWI.

5.6.3 Sensibilidad de los índices IPIG y FWI frente a la ocurrencia de incendios forestales

5.6.3.1 Uniformización de los valores diarios de los índices IPIG y FWI

Para evaluar el funcionamiento de ambos métodos frente al número de incendios diarios y el área diaria afectada en las provincias estudiadas, fue necesario uniformizar los valores diarios de ambos índices utilizando una escala común, ya que el índice IPIG es una variable discreta que toma valores entre 10 a 100 y el índice FWI es una variable continua de 0 a 100. De acuerdo con la metodología descrita por Viegas et al. (1999), los valores diarios de los índices IPIG y FWI se transforman linealmente, usando la siguiente ecuación:

$$I'_x = 100 (I_x - I_{\min}) / (I_{\max} - I_{\min})$$

Donde:

I'_x = Índice del Peligro de Ignición homogeneizado **IPIG'** o Índice Meteorológico de Incendios Forestales homogeneizado **FWI'**. Rango de 0 a 100

I_x = Índice diario IPIG o FWI de la provincia o localidad

I_{\min} = Valor mínimo del índice IPIG o FWI en una cierta provincia durante todo el periodo de análisis

I_{\max} = Valor máximo del índice IPIG o FWI en una cierta provincia durante todo el periodo de análisis

En los casos de ausencia de una (algunas) clase (s), se considera que las variables número de incendios diarios y el área diaria afectada, asociadas a estas clases no están definidas, excepto, que el número total de días y el porcentaje de ocurrencia de esa (s) clase (s) es (son) cero.

5.6.3.2 Distribución de frecuencias de los índices uniformizados IPIG' y FWI'

Los valores diarios uniformizados de los índices IPIG' y FWI' fueron ordenados de menor a mayor y agrupados en 10 clases, limitadas por (0-10], (10-20], (20-30], (30-40], (40-50], (50-60], (60-70], (70-80], (80-90], y (90-100]. Para cada índice se calculó y dibujó:

- a) La frecuencia absoluta
- b) La frecuencia relativa
- c) El polígono de frecuencias relativas y
- d) El polígono de frecuencias relativas acumuladas

El cálculo se realizó para el total de días, para los días de primavera, y los de verano-otoño, en cada provincia estudiada.

5.6.3.3 Relación entre los índices uniformizados IPIG' y FWI' y los días en que se producen incendios forestales

En cada intervalo de clase de los índices uniformizados IPIG' y FWI' se calculó el número de días en que se produjeron los incendios forestales, en términos absolutos y

relativos. Así mismo, se dibujaron los polígonos de frecuencias relativas en las épocas y provincias estudiadas. El cálculo se realizó para los días de primavera y los de verano y otoño en cada provincia estudiada.

5.6.3.4 Relación entre los índices uniformizados IPIG' y FWI' y el número de incendios forestales diarios

Se calculó el valor medio del número de incendios diarios en los intervalos de clase de los índices IPIG' y FWI'. Para ello se dividió el número de incendios diarios de cada intervalo de clase por el número de días en que los índices alcanzaron valores comprendidos en cada intervalo de clase y se dibujó la curva promedio del número de incendios diarios en los intervalos de clase. El cálculo se realizó para los días de primavera y los de verano y otoño en cada provincia estudiada.

De acuerdo a la tendencia gráfica, se construirán modelos de predicción entre el número medio de incendios diarios y el valor medio de los índices en las clases de peligro de los índices sin homogeneizar IPIG y FWI en la época y provincias estudiadas, para mostrar la dependencia entre los índices y la ocurrencia de incendios y la capacidad de cada método para predecir incendios forestales.

5.6.3.5 Relación entre los índices uniformizados IPIG' y FWI' y el área diaria afectada por incendios forestales

Para observar el comportamiento del área diaria afectada en los intervalos de clase de los índices, se dividió el área diaria afectada de cada clase por el número de días en que los índices alcanzaron valores comprendidos en cada clase. Así mismo, se dibujó la curva promedio del área diaria afectada en los intervalos de clase.

Por otro lado, para evaluar el comportamiento del área diaria afectada cuando los índices homogeneizados IPIG' y FWI' alcanzan valores diarios muy altos o extremos (clases 60-100), se calculó la frecuencia relativa acumulada de los índices IPIG' y FWI' y de la superficie diaria afectada por incendios considerando las clases (100-90], (90-80], (80-70), (70-60] en este orden. El cálculo se realizó para los días de primavera y los de verano y otoño en cada provincia estudiada.

5.6.3.6 Grado de asociación entre los valores diarios de los índices IPIG y FWI y la ocurrencia de incendios forestales

Para abordar el grado de asociación entre parejas de datos (índice IPIG, número de incendios diarios); (índice FWI, número de incendios diarios); (índice IPIG, área diaria afectada) e (índice FWI, área diaria afectada) se utilizó un estadístico de tipo no paramétrico debido a que las variables “IPIG”, “FWI”, “número de incendios diarios” y “área afectada diaria” muestran unas poblaciones de valores que no se ajustan a una distribución normal. En concreto el método no paramétrico usado para valorar la correlación es el denominado Coeficiente de Correlación de Rangos de Spearman que mide la asociación entre dos variables, a partir de los rangos ordinales asignados a los datos de ambas variables. Como todos los métodos de tipo no paramétricos al sustituirse los datos originales por números de orden, se obtiene una alternativa más robusta y resistente a los “outliers” frente a las técnicas paramétricas de correlación y regresión lineal (Siegel, 1959; Johnson y Wichern, 1992).

El coeficiente de Spearman “ r_s ” alcanza valores comprendidos entre -1 y $+1$, y se obtiene mediante la expresión siguiente:

$$r_s = \frac{\sum x^2 + \sum y^2 - \sum d^2}{\sqrt{(\sum x^2)(\sum y^2)}}$$

Donde:

$\sum x^2$ = Suma de los rangos asignados a la variable “X” al cuadrado

$\sum y^2$ = Suma de los rangos asignados a la variable “Y” al cuadrado

$\sum d^2$ = Suma de las diferencias de los rangos de cada pareja (X,Y) al cuadrado

La anterior expresión se puede transformar en:

$$r_s = 1 - \frac{6 \sum d_i^2}{n^3 - n}$$

Donde “n”, es el número total de observaciones de las variables “X” o “Y”

Cuando dos o más observaciones de la variable alcanzan los mismos valores (empates), se asigna a cada uno de los valores empatados la media del conjunto de rangos que se habrían asignado a las observaciones si no hubiese habido empates. Si la proporción de empates no es grande, su efecto sobre r_s es despreciable y la fórmula

anterior se puede seguir utilizando para el cálculo, pero si la proporción de empates es grande, como en este caso, dado que las variables “IPIG”, “FWI”, “número de incendios” y “área afectada diaria” tienen muchos valores repetidos, hay que incorporar un factor de corrección para compensar el citado efecto. La corrección por empates se lleva a cabo de la siguiente forma:

La suma de “X” (Σx^2) se reduce según la siguiente expresión:

$$\Sigma x^2 = \frac{n^3 - n}{12} - \Sigma T_x$$

Donde:

n = Número de observaciones de las variables “X”

T = Factor de corrección cuando hay empate de los rangos asignados en la variable “X”

$$T = \frac{t^3 - t}{12}$$

Donde:

t = Número de observaciones empatadas en un rango dado

Análogamente a la suma de “Y” (Σy^2) se reduce según la siguiente expresión:

$$\Sigma y^2 = \frac{n^3 - n}{12} - \Sigma T_y$$

Donde:

n = Número de observaciones de las variables “Y”

T = Factor de corrección cuando hay empate de los rangos asignados en la variable “Y”

$$T = \frac{t^3 - t}{12}$$

Donde:

t = Número de observaciones empatadas en un rango dado,

y la suma de la diferencia “d” (Σd) se calcula de igual forma que cuando no hay empates.

En lo que respecta a la significación estadística del coeficiente de correlación r_s de Spearman, se considera el contraste de la hipótesis nula H_0 de que las dos variables bajo estudio no están asociadas ($r_s = 0$), frente a la H_a , el valor observado de r_s difiere de cero solamente por azar. Para comprobar que el coeficiente r_s es significativo, con muestras suficientemente grandes ($n > 10$), se utiliza el siguiente estadístico:

$$t = r_s \sqrt{(n-2) / (1 - r_s^2)}$$

Donde:

t = Valor “t” calculado. Se compara con el valor “t” tabular

r_s = Coeficiente de Correlación de Rangos de Spearman

n = Número de observaciones

El valor “t” tabular, se obtiene de la tabla T Student con un “ α ” igual a 5% y n-2 grados de libertad.

Para el cálculo de los coeficientes de correlación de rangos de Spearman se usaron los valores diarios originales de los índices IPIG y FWI, éstos fueron agrupados en valores diarios de primavera, de verano y otoño juntos, y de todo el periodo de estudios en cada provincia estudiada.

5.6.3.7 Cálculo de la varianza de los índices IPIG y FWI clasificados según niveles del número de incendios y del área afectada

Para contrastar la hipótesis de que los valores de los índices IPIG y FWI clasificados en K muestras independientes según criterios relacionadas con el número de incendios diarios y el área diaria afectada, proceden de distintas poblaciones estadísticas, y asegurar que los resultados de las diferencias entre parámetros de las subpoblaciones no se deben al azar, se utilizó el análisis de varianza no paramétrica de “Kruskall-Wallis”.

El contraste de Kruskal-Wallis “H” se utiliza ampliamente en el análisis de la varianza y contrasta la hipótesis nula de que K muestras proceden de la misma población o de poblaciones idénticas respecto al valor de la mediana. El test supone que la variable es continua (o que tiene una distribución subyacente continua) y se puede ordenar, pero no exige hipótesis de normalidad.

Se puede demostrar que si las K muestras proceden de la misma población (H_0 es verdad) H se distribuye como una χ^2 con K-1 grados de libertad (Siegel, 1956); bajo el supuesto que el tamaño de las distintas K submuestras no es demasiado pequeño el estadístico tiene la expresión

$$H = \frac{12}{N(N+1)} \sum_{j=1}^k \frac{R_j^2}{n_j} - 3(N+1)$$

H = Valor calculado del estadístico de contraste de Kruskal-Wallis

N = Número de observaciones independientes en las K muestras ($\sum n_j$)

K = Número de muestras

R_j = Suma de rangos de la j-ésima muestra

n_j = Número de casos en la j-ésima muestra

Al igual que en el caso del coeficiente de correlación de rangos de Spearman, de acuerdo a Siegel (1950) se introduce un factor de corrección para compensar el efecto de los empates dividiendo la expresión anterior entre:

$$1 - \frac{\sum T}{N^3 - 1} = 1 - \frac{\sum (t^3 - t)}{N^3 - 1}$$

Donde:

t = es el número de observaciones empatadas en un grupo de valores

Hay que tener en cuenta que cuando ocurre un empate entre dos o más valores a cada valor se le asocia la media aritmética de los rangos de los valores empatados. Por consiguiente la expresión general para “H” corregida por empates es:

$$H = \frac{\frac{12}{N(N+1)} \sum_{j=1}^k \frac{R_j^2}{n_j} - 3(N+1)}{1 - \frac{\sum T}{N^3 - 1}}$$

Donde:

H = Valor calculado del contraste de Kruskal-Wallis. Se compara con valor tabular

N = Número total de observaciones independientes en las K muestras ($\sum n_j$)

K = Número de muestras

R_j = Suma de los rangos en la j-ésima muestra

n_j = Número de casos en la j-ésima muestra

T = $t^3 - t$, donde t es el número de observaciones empatadas en un grupo de de valores

Usando la ecuación anterior, las hipótesis que se contrastan son las siguientes:

a) H_0 : Las medianas de los valores diarios del índice IPIG (FWI) clasificadas según tres niveles del factor “número de incendios diarios” son iguales

H_a : Las medianas de los valores diarios del índice IPIG (FWI) clasificadas según tres niveles Del factor “número de incendios diarios” son diferentes

Donde los niveles del factor son:

Nivel 1: el número de incendios diarios es igual a cero (0)

Nivel 2: el número de incendios diarios es igual a uno (1)

Nivel 3: el número de incendios diarios es mayor que uno (>1)

b) H_0 : Las medianas de los valores diarios del índice IPIG (FWI) según cuatro niveles del factor “área diaria afectada” son iguales

H_a : Las medianas de los valores diarios del índice IPIG (FWI)) según cuatro niveles del factor “área diaria afectada” son diferentes

Donde los niveles del factor son:

Nivel 1: el área diaria afectada es igual a cero ha (0 ha)

Nivel 2: $0 \text{ ha} < \text{el área diaria afectada} \leq 20 \text{ ha}$ ($\leq 20 \text{ ha}$)

Nivel 3: $20\text{ha} < \text{el área diaria afectada} < 500 \text{ ha}$ ($20 < \text{ha} < 500$)

Nivel 4: El área diaria afectada es $\geq 500 \text{ ha}$ ($\geq 500 \text{ ha}$)

El nivel de significación estadística (α) de las hipótesis planteadas es 5% que se obtiene de la Tabla χ^2 con K-1 grados de libertad. Así, los resultados son obtenidos con un nivel de confianza del 95%.

Para el cálculo del valor “H” de Kruskal-Wallis las observaciones se han agrupado según una estratificación estacional: observaciones de primavera, observaciones de verano y otoño juntos y el total de observaciones diarias, todo ello en cada provincia estudiada. Es importante resaltar que se usan los valores diarios de los índices IPIG y FWI sin homogeneizar.

6 RESULTADOS y DISCUSIÓN

6.1 Estructura de los índices IPIF y FWI

La descripción de la estructura de los índices IPIF y FWI caracterizada por los elementos meteorológicos que componen cada método ha sido presentada y analizada en los Capítulos 3.5 y 3.6 respectivamente.

6.2 Funcionamiento de los índices IPIF y FWI

A continuación se presentan los resultados del funcionamiento de ambos índices en la zona Atlántica, Continental y Mediterránea, considerando la época de primavera y de verano-otoño. Los resultados para cada zona climática se presenta por provincias; en el caso de la provincia de Ávila como se estudia dos estaciones meteorológicas (Ávila y Piedra Hita), la base de datos meteorológica es diferente, por lo tanto los resultados con cada índice son diferentes y se tratan independientemente como Ávila y Ávila-Piedra Hita.

En el caso del índice IPIF, el cálculo se realizó hasta el Índice de Probabilidad de Ignición (IPIG) tal como fue detallado en la metodología (Capítulo 5.6.1.1).

6.2.1 Valores diarios de los índices IPIG y FWI

Los valores diarios alcanzados por el índice IPIG se presentan en los Anexos 4, 5, 6, 7, 8, 9 y 10. Se comprueba que éstos varían de 10 en 10 unidades, como tal un valor diario cualquiera cambia en esta magnitud, aunque las condiciones meteorológicas

hayan variado ligeramente, así el IPIG es una variable discreta cuyo valor mínimo es 10 y el máximo 100. De los elementos meteorológicos que participan en su cálculo, la humedad relativa es la que ejerce más influencia en el valor diario.

Respecto a los valores diarios del índice FWI, estos son continuos (Anexos 4, 5, 6, 7, 8, 9 y 10), como tal dan lugar a valores enteros o con decimales; la diversidad es extrema en la provincia de Ávila-Piedra Hita, ya que no existen dos valores iguales en los 1.280 días observados (7 años de estudio). Cuando la condición meteorológica varía en pequeña magnitud los valores diarios se diferencian en forma ligera, mientras que cuando esta cambia bruscamente, los valores cambian drásticamente. El valor mínimo encontrado para las provincias y épocas de estudio es cero y el máximo 91,59.

De manera general, cuando los valores de la precipitación y la humedad relativa son bajos se producen altos valores de los índices IPIG y FWI; cuando los valores de la de la temperatura y la velocidad del viento son bajos se producen bajos valores de los índices IPIG y FWI, de esta manera ambos índices reflejan el peligro potencial de los incendios forestales.

6.2.2 Descripción estadística

6.2.2.1 Distribución de frecuencias de los índices IPIG y FWI

En las Figuras 7, 8 y 9, se presentan las distribuciones de las frecuencias absolutas de los valores diarios de los índices IPIG y FWI para el total de días estudiados, para los días de primavera y los del verano-otoño, según las provincias estudiadas. De acuerdo a los valores diarios de cada índice las frecuencias absolutas distribuidas en clases de 10 en 10 muestran los modelos poblacionales de cada índice. En general, el índice IPIG presenta la forma de campana; mientras el índice FWI presenta dos formas de distribución: exponencial negativa y campana.

La forma acampanada del índice IPIG obedece a que los valores más frecuentes están comprendidos en el intervalo 20-60, en el total de días estudiados, en los días de la primavera y en los del verano-otoño, en todas las provincias estudiadas. En tanto, la forma exponencial del índice FWI, se presenta en las provincias de La Coruña, Lugo y Orense, con todos los días estudiados, los de primavera y los del verano-otoño, indicando una mayor frecuencia absoluta en el intervalo 0-20; este comportamiento

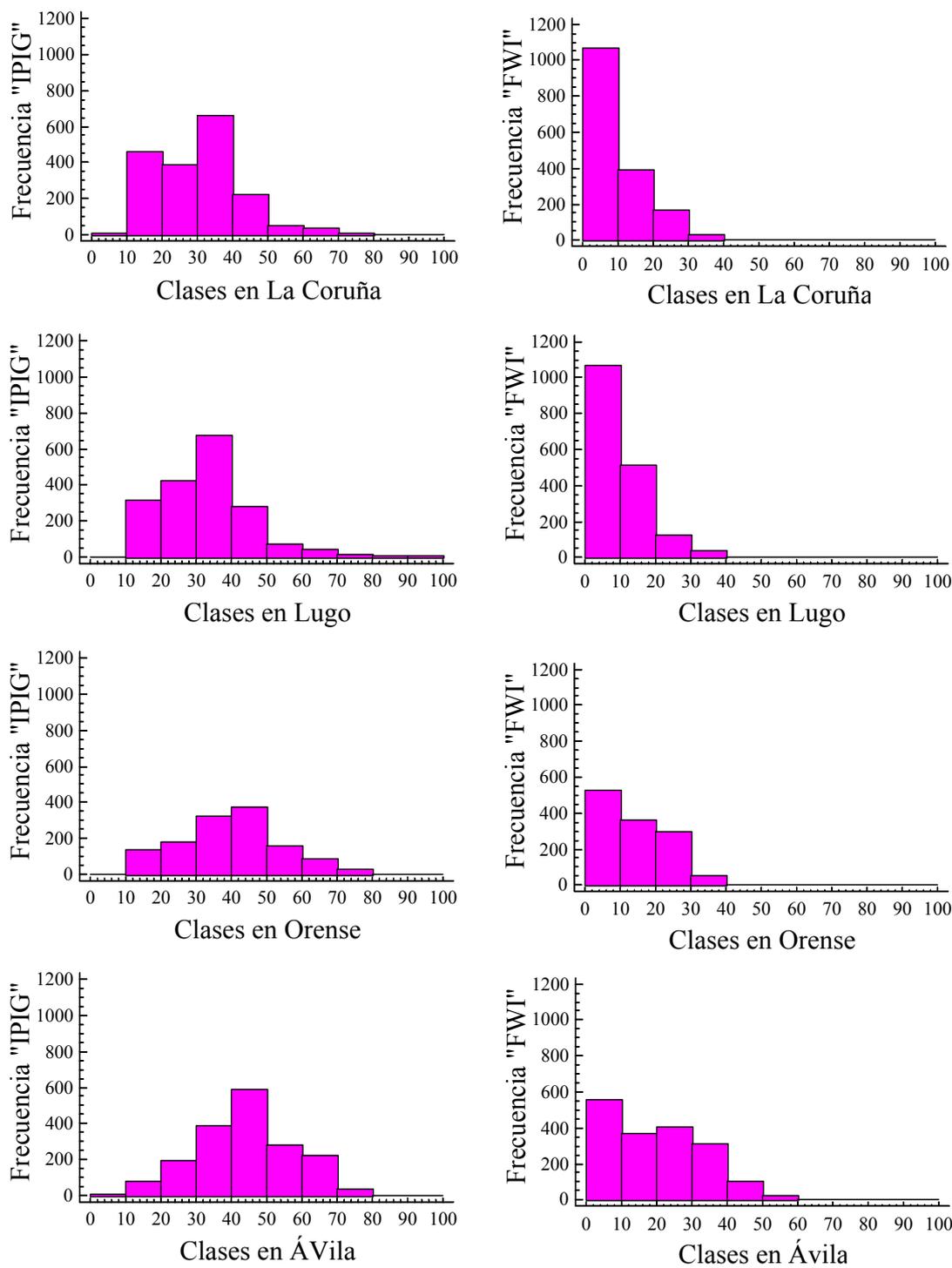


Figura 7. Distribución de las frecuencias absolutas del total de valores diarios del Índice de Peligro de Ignición “IPIG” e Índice Meteorológico de Incendios Forestales “FWI”, según provincias estudiadas

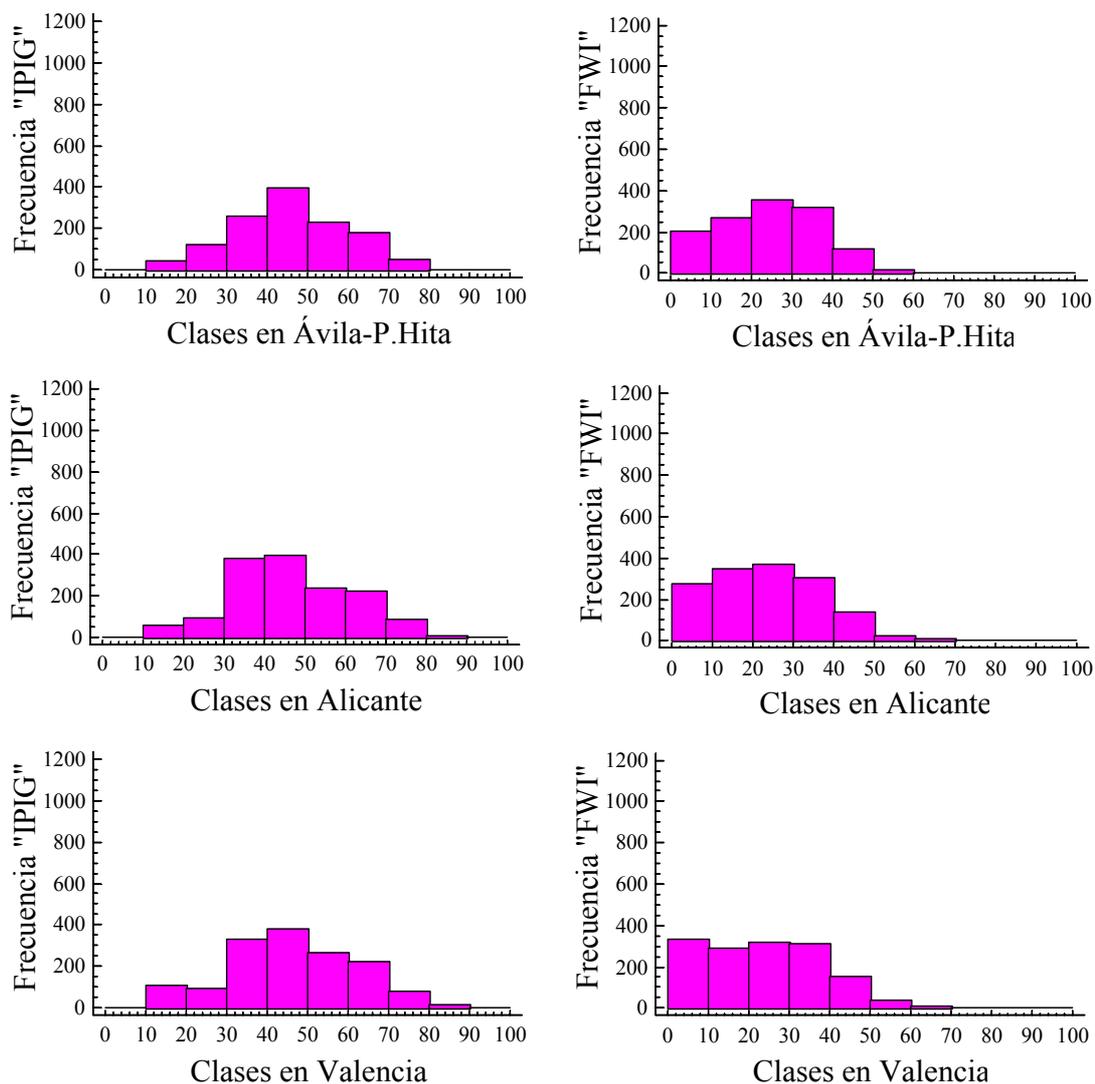


Figura 7. Distribución de las frecuencias absolutas del total de valores diarios del Índice de Peligro de Ignición “IPIG” e Índice Meteorológico de Incendios Forestales “FWI”, según provincias estudiadas (Continuación)

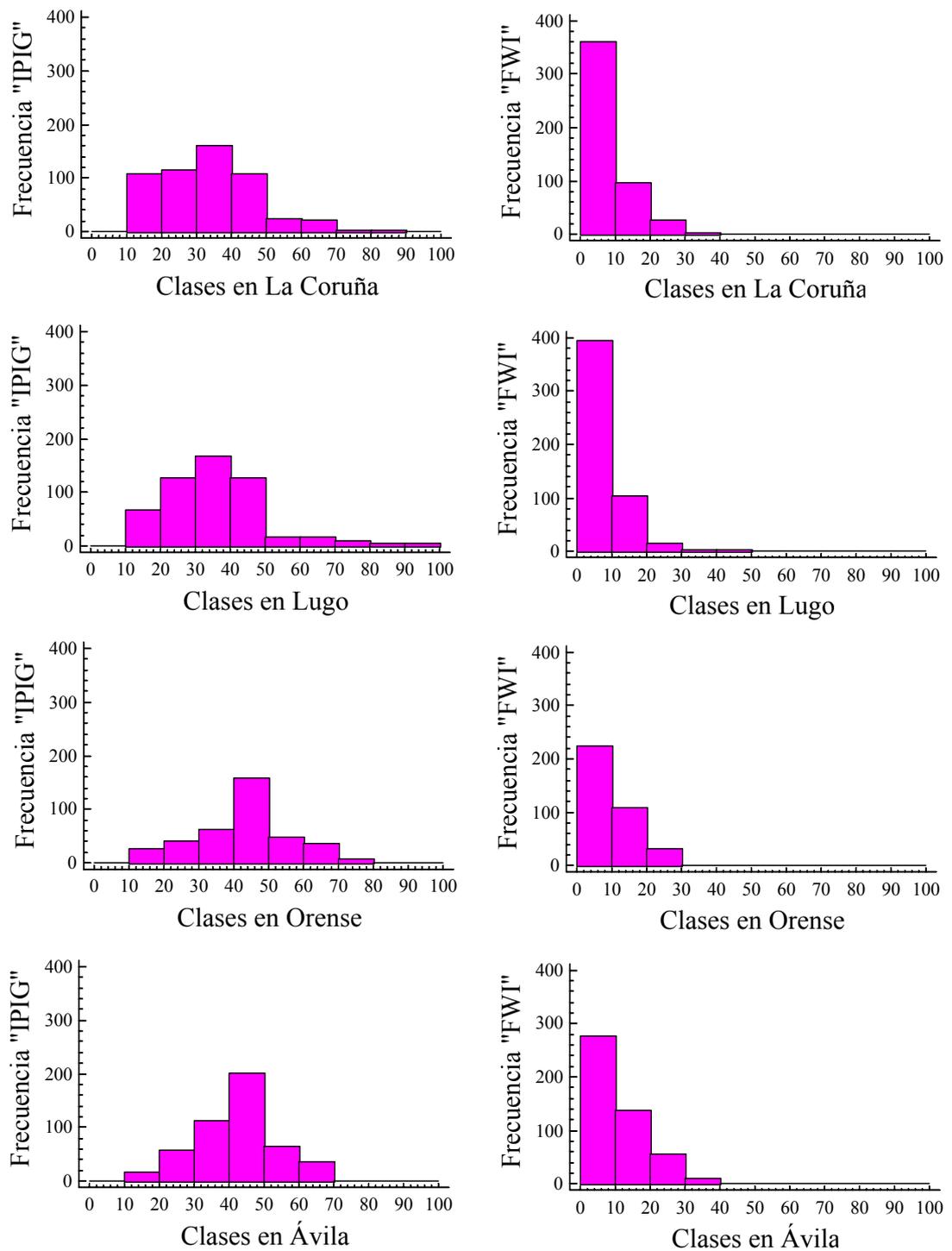


Figura 8. Distribución de las frecuencias absolutas de los valores diarios del Índice de Peligro de Ignición “IPIG” e Índice Meteorológico de Incendios Forestales “FWI” en la primavera, según provincias estudiadas

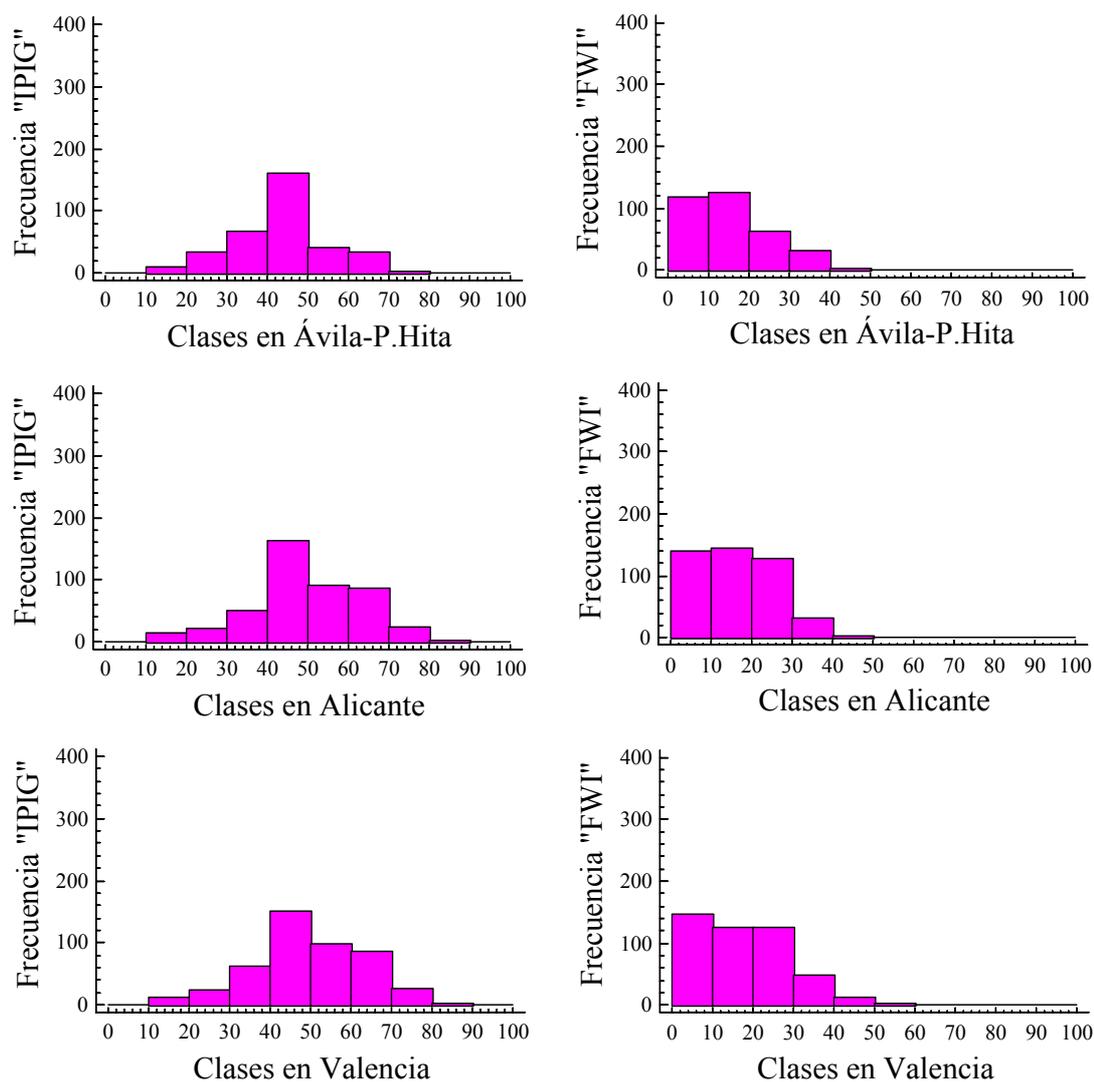


Figura 8. Distribución de las frecuencias absolutas de los valores diarios del Índice de Peligro de Ignición “IPIG” e Índice Meteorológico de Incendios Forestales “FWI” en la primavera, según provincias estudiadas (Continuación)

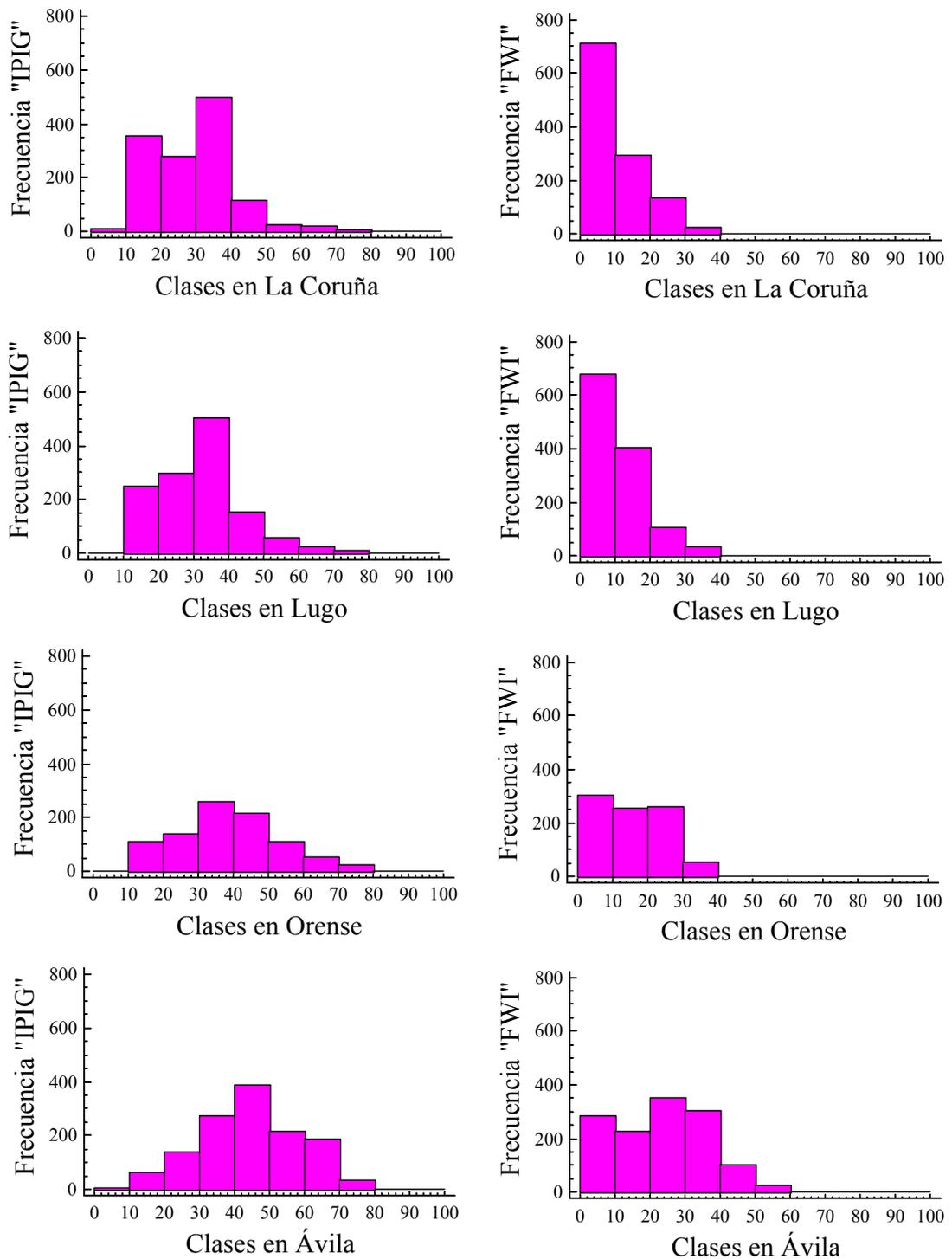


Figura 9. Distribución de las frecuencias absolutas de los valores diarios del Índice de Peligro de Ignición “IPIG” e Índice Meteorológico de Incendios Forestales “FWI” en el verano-otoño, según provincias estudiadas

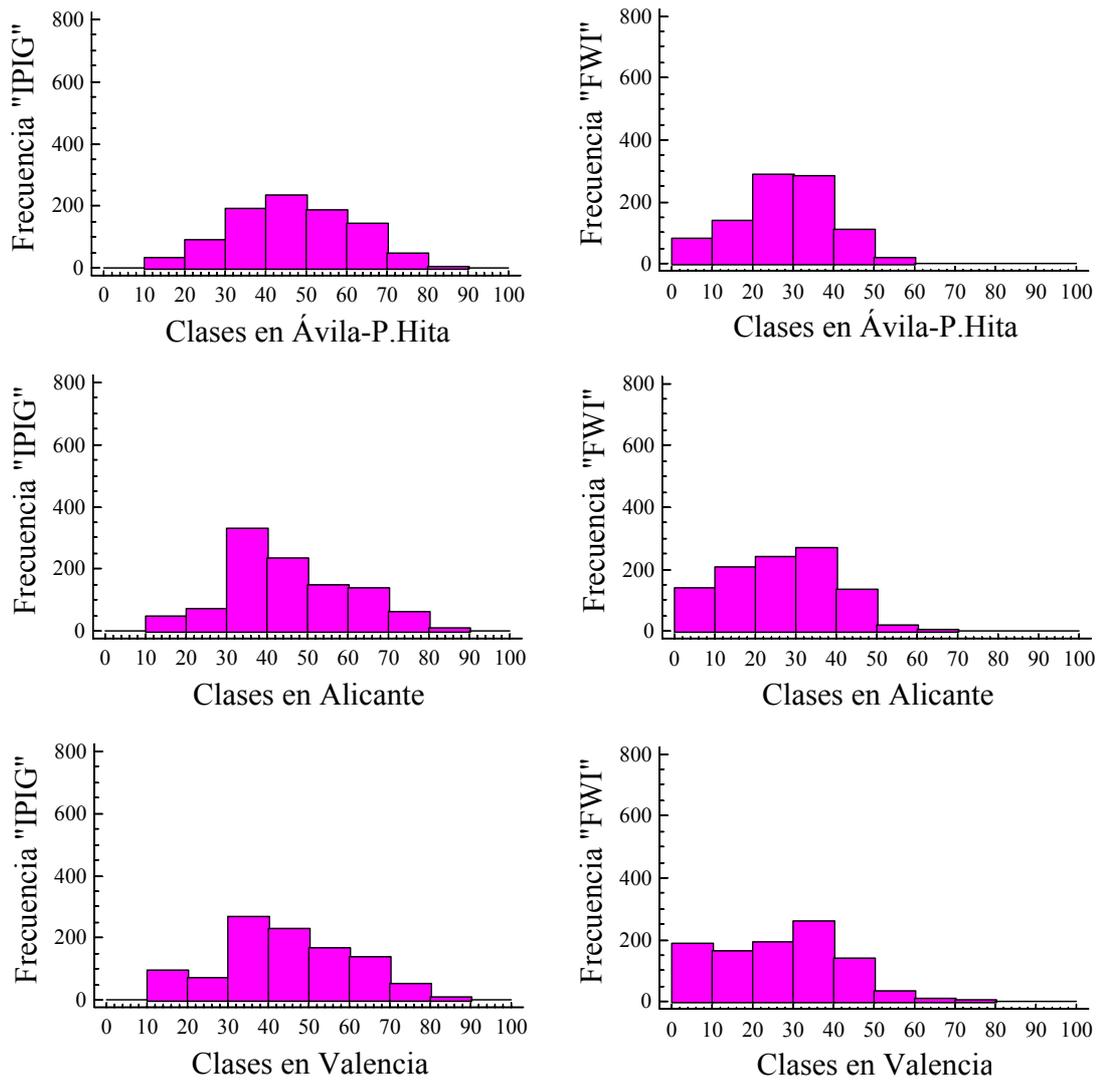


Figura 9. Distribución de las frecuencias absolutas de los valores diarios del Índice de Peligro de Ignición “IPIG” e Índice Meteorológico de Incendios Forestales “FWI” en el verano-otoño, según provincias estudiadas (Continuación)

resulta lógico ya que según Roldán (1985); Sousa (1988) y Sousa (1988a), en estas provincias las condiciones climáticas son más frescas y húmedas que en el resto de la península, aún en el verano-otoño. Así mismo, en la primavera se observa la tendencia a una distribución exponencial negativa en las provincias de Ávila, Ávila-Piedra Hita, Alicante y Valencia, indicando una baja frecuencia en el intervalo 40-100, en esta época del año (Figura 8). A su vez, cuando se analiza el periodo del verano-otoño (Figura 9), se observa la forma de distribución de campana en las provincias de Orense, Ávila,

Ávila-Piedra Hita, Alicante y Valencia como resultado de una mayor frecuencia de los valores diarios comprendidos en el intervalo 20-60.

Para relacionar los valores de los índices IPIG y FWI con la aplicación práctica, en la Tabla 15 se presentan las frecuencias absolutas de los valores diarios alcanzados por los índices en los intervalos de clase asociados a cinco categorías de peligro, de acuerdo con las provincias y épocas estudiadas. En el índice IPIG, los valores diarios de la primavera como los del verano-otoño se concentran en el intervalo 20-60, de manera que el 76,64% de los valores diarios en promedio (1.206,85 días) corresponden a dos categorías de peligro en todas las provincias estudiadas. En el caso del índice “FWI”, el 84,40% de las observaciones en promedio (1.413,66 días) pertenecen a las clases menores de 20, en las provincias de La Coruña, Lugo y Orense. Mientras en las provincias de Ávila, Ávila-Piedra Hita, Alicante y Valencia la formación de la clase comprendida entre 20 y 60 se incrementa notablemente de la primavera al verano-otoño, alcanzando en esta última el 59,06% de los valores diarios, en promedio (705 días).

Cuando las frecuencias absolutas son analizadas por categorías de peligro, se observa que los valores de la variable “IPIG”, generalmente se concentran en sólo dos categorías: moderada y alta, tanto en la primavera, como en el verano-otoño, y en cualquier provincia estudiada. La elevada frecuencia de dos categorías de peligro resulta poco conveniente desde el punto de vista operativo. Esta inconveniencia operativa trató de ser superada por Cadenas et al. (2001), logrando una ligera mejora en el comportamiento del índice. En el caso de la variable “FWI”, ésta produce una elevada frecuencia de la categoría de peligro baja en las provincias con características climáticas propicias a este comportamiento, manteniendo esta tendencia tanto en la primavera y el verano-otoño; así mismo, produce una elevada frecuencia de la categoría de peligro moderada y alta en todas las provincias en el verano-otoño.

La distribución de las frecuencia absolutas de los valores diarios de los índices IPIG y FWI es diferente ante iguales valores de los elementos meteorológicos, comportamiento que tiene implicaciones operativas en la gestión en los incendios forestales. Los resultados, pueden ser explicados en términos de la estructura de ambos

Tabla 15. Valores de frecuencias absolutas de los índice "IPIG y FWI" asociadas a las categorías de peligro en las provincias y épocas estudiadas

Provincia	Peligro		Indice IPIG				Indice FWI			
	Clases	Categorías	Total		Pri	Veo	Total		Pri	Veo
			FA	FR (%)	FA	FA	FA	FR (%)	FA	FA
La Coruña	0	Baja					185	10,05	51	134
	(0-10]	Baja	9	0,49		9	1070	58,15	360	710
	(10-20]	Baja	461	25,05	107	354	392	21,30	97	295
	(20-30]	Moderada	390	21,20	114	276	165	8,97	28	137
	(30-40]	Moderada	659	35,82	161	498	28	1,52	4	24
	(40-50]	Alta	221	12,01	108	113				
	(50-60]	Alta	50	2,72	24	26				
	(60-70]	Muy alta	39	2,12	21	18				
	(70-80]	Muy alta	9	0,49	3	6				
	(80-90]	Extrema	2	0,11	2	0				
	(90-100]	Extrema		0,00		0				
			1.840	100,00	540	1.300	1.840	100,00	540	1.300
Lugo	0	Baja					91	4,95	20	71
	(0-10]	Baja					1070	58,15	394	676
	(10-20]	Baja	317	17,23	66	251	510	27,72	103	407
	(20-30]	Moderada	425	23,10	126	299	123	6,68	15	108
	(30-40]	Moderada	672	36,52	168	504	39	2,12	4	35
	(40-50]	Alta	280	15,22	128	152	5	0,27	4	1
	(50-60]	Alta	74	4,02	17	57	2	0,11		2
	(60-70]	Muy alta	43	2,34	17	26				
	(70-80]	Muy alta	18	0,98	9	9				
	(80-90]	Extrema	6	0,33	4	2				
	(90-100]	Extrema	5	0,26	5					
			1.840	100,00	540	1.300	1.840	100,00	540	1.300
Orense	0	Baja					46	3,57	12	34
	(0-10]	Baja					530	41,15	224	306
	(10-20]	Baja	136	10,56	27	109	363	28,18	108	255
	(20-30]	Moderada	180	13,98	40	140	295	22,91	33	262
	(30-40]	Moderada	323	25,08	63	260	54	4,19	1	53
	(40-50]	Alta	374	29,04	157	217				
	(50-60]	Alta	159	12,34	48	111				
	(60-70]	Muy alta	87	6,75	36	51				
	(70-80]	Muy alta	29	2,25	7	22				
	(80-90]	Extrema								
	(90-100]	Extrema								
			1.288	100,00	378	910	1.288	100,00	378	910
Avila	0	Baja					20	1,12	10	10
	(0-10]	Baja	7	0,39	1	6	559	31,23	276	283
	(10-20]	Baja	79	4,41	17	62	366	20,45	138	228
	(20-30]	Moderada	195	10,89	57	138	406	22,68	55	351
	(30-40]	Moderada	386	21,56	113	273	313	17,49	10	303
	(40-50]	Alta	589	32,92	201	388	101	5,64	1	100
	(50-60]	Alta	281	15,70	65	216	24	1,34		24
	(60-70]	Muy alto	220	12,29	35	185	1	0,06		1
	(70-80]	Muy alto	33	1,84	1	32				
	(80-90]	Extrema								
	(90-100]	Extrema								
			1.790	100,00	490	1.300	1.790	100,00	490	1.300

FA = Frecuencia absoluta, FR = Frecuencia relativa Pri = Primavera, Veo = Verano y otoño

Tabla 15. Valores de frecuencias absolutas de los índice "IPIG y FWI" asociadas a las categorías de peligro en las provincias y épocas estudiadas (Continuación)

Provincia	Peligro		Índice IPIG				Índice FWI			
	Clases	Categorías	Total		Pri	Veo	Total		Pri	Veo
			FA	FR (%)	FA	FA	FA	FR (%)	FA	FA
Ávila-P.Hita	0	Baja					1	0,08	1	
	(0-10]	Baja	1	0,08		1	203	15,86	119	84
	(10-20]	Baja	41	3,20	9	32	267	20,86	125	142
	(20-30]	Moderada	125	9,77	33	92	352	27,50	64	288
	(30-40]	Moderada	258	20,16	67	191	316	24,69	32	284
	(40-50]	Alta	395	30,86	160	235	116	9,06	4	112
	(50-60]	Alta	230	17,97	42	188	20	1,56	1	19
	(60-70]	Muy alta	178	13,91	33	145	3	0,23		3
	(70-80]	Muy alta	49	3,83	3	46	1	0,08		1
	(80-90]	Extrema	3	0,23		3	1	0,08	1	
	(90-100]	Extrema								
			1.280	100,00	347	933	1.280	100,00	347	933
Alicante	0	Baja					18	1,21	3	15
	(0-10]	Baja					279	18,70	139	140
	(10-20]	Baja	61	4,09	15	46	351	23,53	144	207
	(20-30]	Moderada	93	6,23	22	71	369	24,73	129	240
	(30-40]	Moderada	379	25,40	50	329	302	20,24	32	270
	(40-50]	Alta	398	26,68	162	236	140	9,38	4	136
	(50-60]	Alta	239	16,02	90	149	23	1,54		23
	(60-70]	Muy alta	224	15,01	87	137	9	0,60	1	8
	(70-80]	Muy alta	86	5,76	24	62	1	0,07		1
	(80-90]	Extrema	11	0,74	2	9				
	(90-100]	Extrema	1	0,07		1				
			1.492	100,00	452	1.040	1.492	100,00	452	1.040
Valencia	0	Baja					37	2,46	4	33
	(0-10]	Baja	1	0,07		1	334	22,19	146	188
	(10-20]	Baja	109	7,24	12	97	291	19,34	125	166
	(20-30]	Moderada	94	6,25	24	70	319	21,20	125	194
	(30-40]	Moderada	331	21,99	63	268	310	20,60	48	262
	(40-50]	Alta	379	25,18	150	229	156	10,37	13	143
	(50-60]	Alta	269	17,87	99	170	40	2,66	3	37
	(60-70]	Muy alta	224	14,88	87	137	12	0,80	1	11
	(70-80]	Muy alta	82	5,45	27	55	5	0,33		5
	(80-90]	Extrema	15	1	3	12				
	(90-100]	Extrema	1	0,07		1	1	0,07		1

FA = Frecuencia absoluta, FR = Frecuencia relativa Pri = Primavera, Veo = Verano y otoño

índices. En el caso del índice IPIG, su estructura no toman en cuenta uno de los elementos meteorológicos de mayor influencia en la ignición, como es la precipitación, ni su efecto acumulado en el material combustible; así mismo, está muy influenciada por la temperatura y la humedad relativa. Mientras que la estructura del índice FWI incluye este elemento, su efecto acumulado la influencia y relaciones en los otros elementos meteorológicos, explicadas por diferentes modelos matemáticos, que le permite detectar a mayor escala el gradiente climático regional y estacional.

6.2.2.2 Características estadísticas de los índices IPIG y FWI

En este Capítulo se analizan las principales medidas estadísticas que caracterizan los valores diarios de las variables “IPIG y FWI” en las provincias estudiadas para el total de días, los de primavera, y los del verano-otoño (Tabla 16). El rango de los índices evalúa la severidad del clima regional y estacional de la forma siguiente: El valor mínimo absoluto de la variable “IPIG” es 10 y el máximo absoluto 100, en la primavera y en el verano-otoño. En el verano-otoño, curiosamente el valor mínimo se presenta con más frecuencia (10) en la mayoría de las provincias, y en la primavera llama la atención que el valor máximo (100) se presente en la provincia de Lugo. En el caso del índice FWI, el valor mínimo absoluto es cero y el máximo 91,59; mientras Viegas et al. (1999) encontraron valores máximos de 184 para el invierno y 228 para el verano en la provincia de los Alpes de Haute en el Este de los Pirineos, Francia. El valor mínimo (cero) se presenta en todas las provincias estudiadas tanto en la primavera como en el verano-otoño; al tiempo que el valor máximo se presenta en el verano-otoño en la provincia de Valencia. Así mismo, Se observa un incremento del valor máximo absoluto de las provincias del Noroeste a las provincias Mediterráneas tanto en la primavera como en el verano-otoño; así mismo, los valores máximos del verano-otoño son mayores a los de la primavera en todas las provincias, a excepción de Ávila-Piedra Hita.

Respecto a la media de los valores del índice “IPIG”, en promedio ésta es mayor en la primavera (47,43) que en el verano-otoño (45,07); cuando se analiza el total de valores diarios y los de primavera ésta muestra un ligero incremento de la provincia de La Coruña a la provincia de Valencia, tendencia que es menos notoria en el verano-otoño. Por otra parte, el valor medio del “FWI” de todas las provincias en la primavera es menor (11,31) que el valor medio del verano-otoño (19,13). Así mismo, el valor

medio del índice “FWI” en la Provincia de Valencia es aproximadamente dos veces del valor medio alcanzado en La Coruña, tanto en la primavera como en el verano-otoño; se incrementa a tres veces cuando se analiza el total de valores diarios. Como el promedio es sensible a los valores extremos (atípicos), ya que éstos pueden modificar este parámetro totalmente, en la Tabla 16, también se presentan los valores de las medianas. Los valores de la media y de la mediana difieren ligeramente en el índice “IPIG”, en la primavera y verano-otoño, mostrando la homogeneidad y simetría de la población de los valores diarios; mientras los valores de la media y de la mediana en el índice “FWI” muestran una clara diferencia en la primavera y verano-otoño en la mayoría de provincias estudiadas, indicando una mayor heterogeneidad y asimetría en la población de los valores diarios.

Por otra parte, en la variable “IPIG”; el valor diario más frecuente es 50 en la primavera y 40 en el verano-otoño en la mayoría de provincias estudiadas. En el caso del índice “FWI”, el valor más frecuente es cero en la primavera y en el verano-otoño en la mayoría de provincias estudiadas; sin embargo, en la localidad de Piedra Hita, Ávila cada valor diario de primavera y verano-otoño son diferentes entre sí.

Finalmente, la dispersión relativa de los valores diarios de los índices, respecto a la media, es evaluada, a través del coeficiente de variación (CV). Así, el índice “FWI” presenta más del doble de la variabilidad de sus valores que el índice “IPIG” en la primavera, verano-otoño, en todas las provincias estudiadas. Dado que la estructura de los índices esta basada en parámetros meteorológicos, los resultados indican una diferente capacidad de medir la variabilidad de las condiciones meteorológicas de un día cualquiera.

De acuerdo con las medidas estadísticas analizadas se puede afirmar que los índices “IPIG” y “FWI”, tienen diferente capacidad para evaluar el tiempo meteorológico en las épocas y provincias estudiadas.

6.2.2.3 Características estadísticas de la ocurrencia de incendios forestales

Dado que los índices “IPIG y FWI” se contrastan con las poblaciones “número de incendios diarios” (variable discreta) y “área diaria afectada “(variable continua), de cada provincia, a continuación se presentan los resultados de las medidas estadísticas que caracterizan estas poblaciones.

En la Tabla 17, se presenta un resumen estadístico global de la ocurrencia de incendios forestales en cada provincia, el diferente número de días estudiados en las provincias obedece al diferente número de registros meteorológicos completos. Así mismo, las estadísticas de los incendios forestales de la provincia de Ávila se muestra dos veces, por la presencia de dos estaciones meteorológicas: Ávila y Piedra Hita.

El número total de incendios diarios en el periodo de estudio asciende a 30.740, que ocurren en el 47,07% del total de días estudiados (11.035). Se destaca que en el 22,02 % de los DCI se producen incendios menores o iguales a 1 ha, en el 24,26% de los DCI están comprendidos entre 1 y 100 ha y solamente en 0,87% de los DCI se producen grandes incendios (≥ 500 ha); la provincia de Valencia presenta el mayor número de grandes incendios (12) en todo el periodo de estudio.

Tabla 17. Resumen de la ocurrencia de incendios forestales en las provincias y en todo el periodo de estudios

→ Provincias	La Coruña	Lugo	Orense	Avila		Alicante	Valencia	Total
↓ Descripción				Avila	P. Hita			
Área provincial (km ²)	7.950,38	9.855,73	7.273,38	8.050,15	8.050,15	5.817,15	10.775,67	49.722,48
Área boscosa (km ²)	7.665,12*	6.563,47*	5.754,75*	4.789,04	4.789,04	2.473,76	5.685,53	32.594,78
Días estudiados	1.840,00	1.840,00	1.288,00	1.790,00	1.280,00	1.492,00	1.505,00	11.035,00
Días con incendio(DCI)	1.153,00	1.122,00	575,00	701,00	502,00	532,00	709,00	5.294,00
Porcentaje de DCI	62,66	60,98	44,64	39,16	39,22	35,66	47,11	47,07
Días sin incendios(DSI)	687,00	718,00	713,00	1.089,00	778,00	960,00	796,00	5.741,00
Porcentaje de DSI	37,34	39,02	55,36	60,84	60,78	64,34	52,89	52,93
Incendios diarios								
número total	15.842,00	9.213,00	1.203,00	1.382,00	978,00	779,00	1.343,00	30.740,00
media general	8,61	5,01	0,93	0,77	0,76	0,52	0,89	
media diaria de DCI	13,74	8,21	2,09	1,97	1,95	1,46	1,89	
media por área boscosa	2,07	1,40	0,21	0,29	0,20	0,31	0,24	
Área diaria afectada								
total (ha)	19.309,80	23.191,00	6.474,58	16.513,00	13.015,10	12.554,10	104.084,00	195.141,58
media general	10,49	12,60	5,03	9,23	10,17	8,41	69,15	
media diaria de DCI	16,75	20,67	11,26	23,56	25,93	23,60	146,60	
media por área boscosa	2,52	3,53	1,13	3,45	2,72	5,07	18,31	
DCI \leq 1ha	385,00	355,00	301,00	371,00	269,00	311,00	438,00	2.430,00
DCI >1 y <100 ha	730,00	725,00	259,00	302,00	213,00	197,00	250,00	2.676,00
DCI \geq 100 ha	38,00	42,00	15,00	27,00	20,00	24,00	22,00	188,00
DCI \geq 500 ha	7,00	9,00	1,00	5,00	4,00	8,00	12,00	46,00

* Fuente: Tercer inventario forestal nacional

El área afectada por los incendios forestales, asciende a un total de 195.141,58 ha. Todas las provincias excepto Orense presentan superficies afectadas superiores a 10.000 ha; la menor superficie afectada en la provincia de Orense obedece al menor

periodo de estudio (6 años de estudio). La mayor área afectada ocurre en la provincia de Valencia con 104.084 ha afectadas. En todas las provincias, menos La Coruña y

Orense, el área diaria media afectada es superior a 20 ha, cuando se considera los días con incendios (DCI); cuando se considera el área boscosa las provincias de Valencia y Alicante presentan la mayor área media afectada (5,07 ha y 18,31 ha, respectivamente). Aunque los resultados ponen en evidencia el reducido número de grandes incendios, el elevado número de pequeños y medianos incendios muestra el daño económico y ambiental que producen los incendios forestales, sobre todo en aquellas provincias con menor superficie de bosques: Ávila, Alicante y Valencia.

En la Tabla 18 se presentan las medidas estadísticas de centralización y dispersión de la población “número de incendios diarios” en el total de días estudiados, en los días de primavera y los del verano- otoño. La mayor parte de los incendios ocurre en el verano-otoño, estos resultados siguen la tendencia de la distribución estacional de los incendios señalada por Vázquez (1996) para un periodo de 20 años, determinando que el mayor número de incendios y de la superficie quemada se registró en apenas unas quincenas de los meses de verano. Por otra parte, las provincias con el mayor número de incendios tanto en la primavera como en el verano-otoño son La Coruña y Lugo. Como consecuencia de ello ambas provincias presentan los máximos promedios en la primavera (4,05 y 1,87 incendios diarios) y en el verano-otoño (10,51 y 6,31 incendios diarios). En tanto, la provincia de Ávila presenta el mínimo promedio (0,20 incendios diarios) en la primavera y Alicante (0,57 incendios diarios) en el verano-otoño.

Los resultados son paradójicos por las características climáticas de la zona Atlántica (ver la Tabla 12), que no favorecen el inicio ni la propagación de los incendios naturales porque tienen la más alta precipitación anual y humedad relativa de la península (Roldán, (1985) y Sousa (1988)), con excepción del microclima Mediterráneo de la provincia de Orense especialmente en el verano (Sousa, 1988a); no obstante se explican en función al origen humano de los incendios forestales. Los resultados siguen la tendencia de los reportes anuales de la DGCN (2002) con excepción de la provincia de Orense, cuyo menor número de incendios obedece al menor número de días estudiados en esta provincia (Figura 10, Anexo 11).

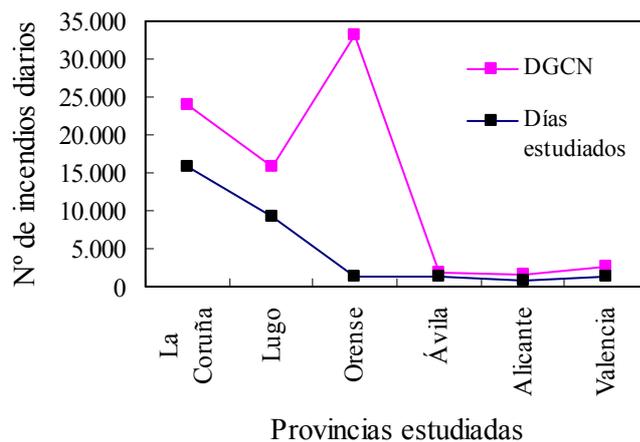


Figura 10. Número total de incendios diarios, según el periodo total del estudio (1991-2000) y la estadística de la DGCN (2002)

Por otro lado, las diferencias entre la media y la mediana del “número de incendios diarios” son notorias en las provincias estudiadas en la primavera y el verano-otoño, especialmente en Ávila-Piedra Hita, Ávila y Orense en la primavera, reflejando la heterogeneidad y la falta de simetría de la población de valores diarios. Esta afirmación es confirmada por los altos porcentajes del coeficiente de variación (CV) en las provincias estudiadas. Finalmente aunque, en la primavera, y en el verano-otoño es frecuente que no ocurran incendios forestales (la moda es cero), éstos ocurren en cerca de la mitad de los días estudiados (47,07%), y el número diario de ellos puede ser extremo, como en las provincias de La Coruña y Lugo en la primavera (46 y 24) y en el verano (156 y 86).

Respecto a las medidas estadísticas de centralización y dispersión de la población “área diaria afectada por incendios forestales”, en la Tabla 18 se observa que la mayor superficie afectada por los incendios forestales ocurre en el verano-otoño en todas las provincias, a excepción de Orense, nuevamente debido al menor número de días estudiados. Las provincias con la mayor superficie afectada son Valencia, Lugo y La Coruña; y como consecuencia, los máximos promedios del “área diaria afectada” lo presentan las provincias de Valencia (23,82 ha), La Coruña (4,97 ha) y Lugo (2,93 ha), en la primavera; en el verano-otoño todas las provincias incrementan significativamente sus promedios y los mayores promedios ocurren en la provincias de Valencia (89.43 ha), Lugo (16,62 ha) y Ávila (13,77 ha). Respecto al rango del área diaria afectada, se

incrementa significativamente en todas las provincias en el verano-otoño, pero la provincia de Valencia presenta el mayor rango en la primavera (5.264,50 ha) y en el verano-otoño (46.206,50 ha), resultados que indican la ocurrencia de grandes incendios (≥ 500 ha) en esta época principalmente. Los resultados son nuevamente paradójicos, especialmente en la primavera, ya que era de esperar que hubiera una mayor superficie afectada en las provincias Continentales y Mediterráneas que en las del Noroeste debido a las características climáticas de estas provincias; sin embargo, siguen la tendencia de los informes anuales de la DGCN (2002), Figura 11, a excepción de la provincia de Orense, debido al menor número de días estudiados (1.288 días). En el periodo 1991-2000, el área total afectada por los incendios en las provincias del Noroeste representó el 56,55% de la superficie total diaria afectada, mientras en las provincias Mediterráneas y Continentales supuso el 43,45% restante (Anexo 12).

Por otro lado, se observa grandes diferencias entre la media y la mediana del área diaria afectada en el verano-otoño en todas las provincias (Tabla 18) reflejando la heterogeneidad y la asimetría de la población de valores diarios; la diferencia es extrema en la provincia de Valencia. Los altos porcentajes del CV confirman la variabilidad de los valores del área diaria afectada, en la primavera y en el verano-otoño en las provincias estudiadas, rasgo característico de poblaciones diferentes a la normal.

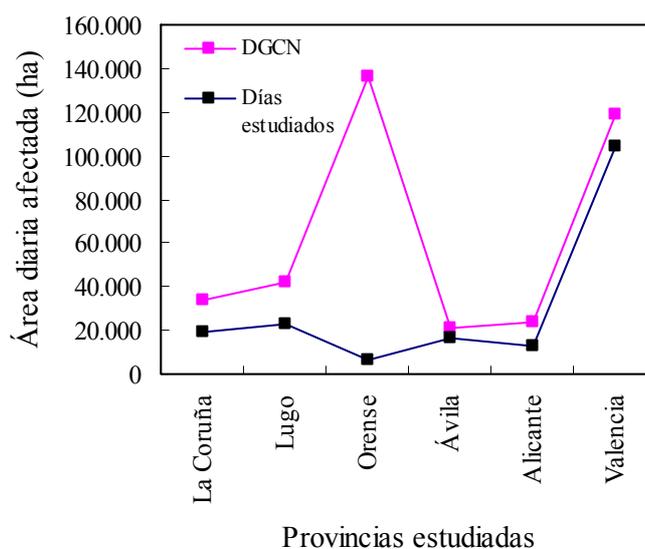


Figura 11. Área total de los incendios diarios, según el periodo total del estudio (1991-2000) y las estadísticas de la DGCN (2002).

Finalmente, el valor del área diaria afectada más frecuente en la primavera y en el verano-otoño, es cero hectáreas en las provincias estudiadas, pero un solo incendio puede ocasionar la destrucción de 46.206,50 ha como en el caso de la provincia de Valencia.

Aunque el objetivo de esta investigación no es estudiar el comportamiento del número de incendios y el área afectada por los incendios forestales en las zonas climáticas, el análisis de la paradoja encontrada en los resultados de este Capítulo ayudará a explicar el funcionamiento de los índices IPIG y FWI, ya que ambos métodos son estrictamente meteorológicos y no toman en cuenta el componente humano en sus respectivas estructuras de cálculo. La paradoja de que el mayor número de incendios forestales y la mayor superficie diaria afectada por los incendios forestales ocurra en las provincias del Noroeste, sería explicada por el hecho de que los incendios son causados intencionalmente por parte de las poblaciones locales, quienes reforzarían su intención de acuerdo a las características climáticas y meteorológicas de las provincias estudiadas (Vázquez, 1996). Entre las principales causas intencionadas que influyen en el origen de los incendios destacan: las actividades y costumbres productivas de la población (agrícola, pecuaria, apícola), que demanda el uso del fuego, el número de conatos, y el régimen jurídico administrativo de la prevención y lucha contra los incendios forestales adoptado por cada Comunidad Autónoma. Para ilustrar esta afirmación en la Tabla 19 se presenta el número de conatos en las provincias estudiadas; las provincias con el mayor número de conatos son La Coruña (37,84%), Orense (36,56%) y Lugo (17,99%), en tanto que el 7,61% de conatos se presentan las provincias Continentales y Mediterráneas juntas.

Tabla 19. Número de conatos en en las provincias estudiadas durante el 1 de mayo al 31 de octubre. Periodo 1991-2000

Provincias	Años										Total	
	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	Nº	%
La Coruña	447	789	937	909	2.644	1.773	1.680	1.668	1.315	1.262	13.424	37,84
Lugo	522	414	274	641	1.049	644	392	891	628	927	6.382	17,99
Orense	701	522	600	1.528	1.297	2.086	1.090	1.736	1.243	2.166	12.969	36,56
Ávila	92	114	115	105	109	86	64	58	80	50	873	2,46
Alicante	90	51	62	55	12	39	50	78	80	78	595	1,68
Valencia	172	132	145	123	101	103	88	106	111	150	1.231	3,47
Nº Total	2.024	2.022	2.133	3.361	5.212	4.731	3.364	4.537	3.457	4.633	35.474	100,00
Porcentaje	5,71	5,70	6,01	9,47	14,69	13,34	9,48	12,79	9,75	13,06		100,00

Fuente: DGCN (2003)

Es importante mencionar que el mayor número o menor número de incendios en las provincias estudiadas también está influenciado por el área de cada provincia; sin embargo este dato carece de importancia frente a las hábitos productivos de las poblaciones locales.

En general, las estadísticas de la ocurrencia de los incendios forestales muestran la posibilidad de tener al menos un incendio en un día cualquiera de primavera, de verano y de otoño. De acuerdo con ello los incendios forestales representan un riesgo permanente en las provincias estudiadas, por lo que es importante disponer de un índice meteorológico de incendios forestales que refleje las condiciones climáticas de cada zona en particular y que esté calibrado a la ocurrencia de incendios forestales de las mismas.

6.2.2.4 Prueba de bondad de ajuste a una distribución normal de las variables “IPIG”, “FWI”, “número de incendios diarios” y “superficie diaria afectada”

El contraste de la hipótesis de normalidad de la variable IPIG se muestra en las Tablas 20, 21, 22, 23, 24, 25, y 26, según cada provincia estudiada. En todas ellas el χ^2 tabular es menor que el χ^2 total calculado a un nivel de confianza del 99%, es decir, que existe un valor muy pequeño de probabilidad ($< 0,01$), de que el índice IPIG provenga de una distribución normal. Por lo tanto, se rechaza la hipótesis de que la variable IPIG provenga de una distribución normal en las provincias estudiadas.

Tabla 20. Prueba de bondad de ajuste a una distribución normal de la variable "IPIG" en la provincia de La Coruña (Contraste χ^2 de Pearson)

Clase		Normalización de Probabilidad de dis				Probabilidad	Frecuencia		χ^2
inferior	superior	las clases (Z)		tribución normal		efectiva	observada	esperada	calculado
0	10	-2,823	-2,025	0,002	0,021	0,019	9	35,09	19,40
10	20	-2,025	-1,226	0,021	0,110	0,089	461	163,11	544,05
20	30	-1,226	-0,427	0,110	0,335	0,224	390	413,05	1,29
30	40	-0,427	0,371	0,335	0,645	0,310	659	570,87	13,60
40	50	0,371	1,170	0,645	0,879	0,234	221	430,91	102,26
50	60	1,170	1,969	0,879	0,976	0,096	50	177,54	91,62
60	70	1,969	2,768	0,976	0,997	0,022	39	39,86	0,02
70	90	2,768	4,365	0,997	1,000	0,003	11	5,18	6,52
Total							1.840		778,76

$\chi^2(0,01 \text{ y } 5 \text{ g.l.}) = 15,0863$ y es $< \chi^2$ calculado, por lo tanto, se rechaza la hipótesis de que la variable provenga de una distribución normal con un nivel de confianza del 99%

Tabla 21. Prueba de bondad de ajuste a una distribución normal de la variable "IPIG" en la provincia de Lugo (Contraste χ^2 de Pearson)

Clase		Normalización de Probabilidad de dis				Probabilidad	Frecuencia		χ^2
inferior	superior	las clases (Z)		tribución normal	efectiva	observada	esperada	calculado	
0	20	-2,880	-1,364	0,002	0,086	0,084	317	155,13	168,90
20	30	-1,364	-0,606	0,086	0,272	0,186	425	342,31	19,97
30	40	-0,606	0,152	0,272	0,561	0,288	672	530,33	37,84
40	50	0,152	0,911	0,561	0,819	0,258	280	475,03	80,08
50	60	0,911	1,669	0,819	0,952	0,134	74	245,97	120,23
60	70	1,669	2,427	0,952	0,992	0,040	43	73,55	12,69
70	80	2,427	3,185	0,992	0,999	0,007	18	12,68	2,23
80	100	3,185	4,701	0,999	1,000	0,001	11	1,33	70,34
Total							1.840		512,29

$\chi^2(0,01 \text{ y } 5 \text{ g.l.}) = 15,0863$ y es $< \chi^2$ calculado, por lo tanto, se rechaza la hipótesis de que la variable provenga de una distribución normal con un nivel de confianza del 99%

Tabla 22. Prueba de bondad de ajuste a una distribución normal de la variable "IPIG" en la provincia de Orense (Contraste χ^2 de Pearson)

Clase		Normalización de Probabilidad de dis				Probabilidad	Frecuencia		χ^2
inferior	superior	las clases (Z)		tribución normal	efectiva	observada	esperada	calculado	
0	20	-3,100	-1,716	0,001	0,043	0,042	136	54,29	122,97
20	30	-1,716	-1,024	0,043	0,153	0,110	180	141,56	10,44
30	40	-1,024	-0,331	0,153	0,370	0,217	323	279,64	6,72
40	50	-0,331	0,361	0,370	0,641	0,271	374	348,59	1,85
50	60	0,361	1,053	0,641	0,854	0,213	159	274,28	48,45
60	70	1,053	1,745	0,854	0,959	0,106	87	136,19	17,77
70	80	1,745	2,437	0,959	0,993	0,033	29	42,65	4,37
Total							1.288		212,58

$\chi^2(0,01 \text{ y } 4 \text{ g.l.}) = 13,2767$ y es $< \chi^2$ calculado, por lo tanto, se rechaza la hipótesis de que la variable provenga de una distribución normal con un nivel de confianza del 99%

Tabla 23. Prueba de bondad de ajuste a una distribución normal de la variable "IPIG" en la provincia de Ávila (Contraste χ^2 de Pearson)

Clase		Normalización de Probabilidad de dis				Probabilidad	Frecuencia		χ^2
inferior	superior	las clases (Z)		tribución normal	efectiva	observada	esperada	calculado	
0	10	-3,526	-2,803	0,000	0,003	0,002	7	4,150	1,96
10	20	-2,803	-2,080	0,003	0,019	0,016	79	29,037	85,97
20	30	-2,080	-1,357	0,019	0,087	0,069	195	122,810	42,43
30	40	-1,357	-0,634	0,087	0,263	0,176	386	314,393	16,31
40	50	-0,634	0,089	0,263	0,535	0,272	589	487,660	21,06
50	60	0,089	0,812	0,535	0,792	0,256	281	458,546	68,74
60	70	0,812	1,535	0,792	0,938	0,146	220	261,360	6,55
70	80	1,535	2,258	0,938	0,988	0,050	33	90,243	36,31
Total							1.790		279,33

$\chi^2(0,01 \text{ y } 5 \text{ g.l.}) = 15,0863$ y es $< \chi^2$ calculado, por lo tanto, se rechaza la hipótesis de que la variable provenga de una distribución normal con un nivel de confianza del 99%

Tabla 24. Prueba de bondad de ajuste a una distribución normal de la variable "IPIG" en la localidad de Piedra Hita, Ávila (Contraste χ^2 de Pearson)

Clase		Normalización de		Probabilidad de dis		Probabilidad efectiva	Frecuencia		χ^2 calculado	
inferior	superior	las clases (Z)		tribución normal			observada	esperada		
0	20	-3,592	-2,179	0,000	0,015	0,015	42	19,200	27,08	
20	30	-2,179	-1,473	0,015	0,070	0,056	125	71,298	40,45	
30	40	-1,473	-0,767	0,070	0,222	0,151	258	193,539	21,47	
40	50	-0,767	-0,061	0,222	0,476	0,254	395	325,414	14,88	
50	60	-0,061	0,645	0,476	0,741	0,265	230	339,081	35,09	
60	70	0,645	1,352	0,741	0,912	0,171	178	218,971	7,67	
70	90	1,352	2,764	0,912	0,997	0,085	52	109,290	30,03	
Total								1.280		176,66

$\chi^2(0,01 \text{ y } 4 \text{ g.l.}) = 13,2767$ y es $< \chi^2$ calculado, por lo tanto, se rechaza la hipótesis de que la variable provenga de una distribución normal con un nivel de confianza del 99%

Tabla 25. Prueba de bondad de ajuste a una distribución normal de la variable "IPIG" en la provincia de Alicante (Contraste χ^2 de Pearson)

Clase		Normalización de		Probabilidad de dis		Probabilidad efectiva	Frecuencia		χ^2 calculado	
inferior	superior	las clases (Z)		tribución normal			observada	esperada		
0	20	-3,436	-2,106	0,000	0,018	0,018	61	26,856	43,41	
20	30	-2,106	-1,440	0,018	0,075	0,057	93	85,430	0,67	
30	40	-1,440	-0,775	0,075	0,219	0,144	379	215,244	124,58	
40	50	-0,775	-0,110	0,219	0,456	0,237	398	353,837	5,51	
50	60	-0,110	0,556	0,456	0,711	0,254	239	379,641	52,10	
60	70	0,556	1,221	0,711	0,889	0,178	224	265,865	6,59	
70	80	1,221	1,886	0,889	0,970	0,081	86	121,496	10,37	
80	100	1,886	3,217	0,970	0,999	0,029	12	43,244	22,57	
Total								1.492		265,85

$\chi^2(0,01 \text{ y } 5 \text{ g.l.}) = 15,0863$ y es $< \chi^2$ calculado, por lo tanto, se rechaza la hipótesis de que la variable provenga de una distribución normal con un nivel de confianza del 99%

Tabla 26. Prueba de bondad de ajuste a una distribución normal de la variable "IPIG" en la provincia de Valencia (contraste χ^2 de Pearson)

Clase		Normalización de		Probabilidad de dis		Probabilidad efectiva	Frecuencia		χ^2 calculado	
inferior	superior	las clases (Z)		tribución normal			observada	esperada		
0	20	-3,199	-1,949	0,001	0,026	0,025	110	37,583	139,53	
20	30	-1,949	-1,324	0,026	0,093	0,067	94	101,031	0,49	
30	40	-1,324	-0,699	0,093	0,242	0,150	331	225,089	49,83	
40	50	-0,699	-0,074	0,242	0,471	0,228	379	343,517	3,67	
50	60	-0,074	0,551	0,471	0,709	0,239	269	359,190	22,65	
60	70	0,551	1,176	0,709	0,880	0,171	224	257,330	4,32	
70	80	1,176	1,801	0,880	0,964	0,084	82	126,293	15,53	
80	100	1,801	3,051	0,964	0,999	0,035	16	52,212	25,11	
Total								1.505		261,13

$\chi^2(0,01 \text{ y } 5 \text{ g.l.}) = 15,0863 < \chi^2$ calculado total, por lo tanto, se rechaza la hipótesis de que la variable provenga de una distribución normal con un nivel de confianza del 99%

En el caso de la variable “FWI”, los resultados de contrastar la hipótesis nula H_0 : La distribución de la población de valores del índice FWI es normal, usando el estadístico de Kolmogorov-Smirnov versión de Lilliefors se presentan en la Tabla 27. Según la aplicación de la prueba, el valor D máximo calculado es mayor que el D tabular obtenido de la muestra, por lo que se puede rechazar la hipótesis H_0 con un nivel de confianza del 99%, (nivel de significación del 1%), para cada una de las provincias estudiadas.

Tabla 27. Prueba de bondad de ajuste a una distribución normal de la "variable FWI " en el área estudiada (Contraste de kolmogorov Smirnov, versión de Lilliefors)

Provincias	Estadísticos estimados				Confianza del 99%
	D más	D menos	D máximo	D tabular (0,01)	
La Coruña	0,154	0,185	0,185	0,024	Dtab<Dmax Rechazar Ho
Lugo	0,121	0,167	0,167	0,024	Dtab<Dmax Rechazar Ho
Orense	0,095	0,103	0,103	0,029	Dtab<Dmax Rechazar Ho
Avila	0,077	0,081	0,081	0,024	Dtab<Dmax Rechazar Ho
Avila-P.Hita	0,038	0,028	0,038	0,029	Dtab<Dmax Rechazar Ho
Alicante	0,042	0,048	0,048	0,028	Dtab<Dmax Rechazar Ho
Valencia	0,052	0,067	0,067	0,027	Dtab<Dmax Rechazar Ho

Los resultados del contraste de bondad de ajuste a una distribución de Poisson de la variable “número de incendios diarios” en las provincias estudiadas se presentan en las Tablas 28, 29, 30, 31, 32, 33 y 34. Se utiliza la distribución de Poisson dado que se trata de comparar con la distribución que adoptaría un proceso natural aleatorio en el espacio y en el tiempo en el que se considera la población “número de incendios diarios” del fenómeno de incendios forestales. Los contrastes realizados con los datos de esta variable en las diferentes provincias permiten rechazar la hipótesis de que provenga de una distribución Poisson con un nivel de confianza del 99%, porque el χ^2 tabular obtenido de la muestra es menor que el χ^2 calculado, es decir, que existe un valor muy pequeño de probabilidad ($< 0,01$), para que la población “número de incendios diarios” siga el proceso de Poisson. Los resultados de los contrastes realizados con este estadístico han conseguido demostrar que el número de incendios diarios no es un fenómeno aleatorio, sino que se relaciona y depende de otras variables externas, una de las cuales es la variable meteorológica motivo del presente estudio.

Tabla 28. Prueba de bondad de ajuste a una distribución Poisson de la población "número de incendios diarios" en la provincia de La Coruña (Contraste χ^2 de Pearson)

Clases	Número de incendios	Frecuencia observada	Probabilidad del N° Inc.(Poisson)	Frecuencia esperada	χ^2 calculado
1	0 a 2	930	0,008507826	15,654	53.405,30
2	3 a 4	161	0,061127665	112,475	20,94
3	5	71	0,071871883	132,244	28,36
4	6	58	0,103136152	189,771	91,50
5	7	39	0,126857467	233,418	161,93
6	8	42	0,136530349	251,216	174,24
7	9	41	0,130614033	240,330	165,32
8	10	44	0,112458683	206,924	128,28
9	11	32	0,088024478	161,965	104,29
10	12	29	0,063157563	116,210	65,45
11	13 a 22	189	0,097679118	179,730	0,48
12	23 a 32	93	0,000034783	0,064	134.952,96
13	33 a 42	41	2,00721E-10	0,000	4,55E+09
14	43 a 156	70	2,22045E-15	0,000	1,20E+15
Total		1.840			1,20E+15
λ		8,610			

χ^2 (0,01 y 13 g.l.) =27,688 y $< \chi^2$ calculado, por lo tanto se rechaza la hipótesis de que la variable provenga de una distribución de Poisson con un nivel de confianza del 99%

Tabla 29. Prueba de bondad de ajuste a una distribución Poisson de la población "número de incendios diarios" en la provincia de Lugo (Contraste χ^2 de Pearson)

Clases	Número de incendios	Frecuencia observada	Probabilidad del N° Inc.(Poisson)	Frecuencia esperada	χ^2 calculado
1	0 a 1	915	0,040192513	73,954	9.564,81
2	2	154	0,083871173	154,323	0,00
3	3	122	0,139980987	257,565	71,35
4	4	100	0,175221201	322,407	153,42
5	5	80	0,175466511	322,858	182,68
6	6	58	0,146426803	269,425	165,91
7	7	49	0,104737001	192,716	107,17
8	8	52	0,065552270	120,616	39,03
9	9 a 18	175	0,068550111	126,132	18,93
10	19 a 28	80	1,43006E-06	0,003	2,43E+06
11	29 a 86	55	1,76081E-13	3,240E-10	9,34E+12
Total		1.840			9,34E+12
λ		5,007			

χ^2 (0,01 y 10 g.l.) =23,209 y $< \chi^2$ calculado, por lo tanto se rechaza la hipótesis de que la variable provenga de una distribución de Poisson con un nivel de confianza del 99%

Tabla 30. Prueba de bondad de ajuste a una distribución Poisson de la población "número de incendios diarios " en la provincia de Orense (Contraste χ^2 de Pearson)

Clase	Número de incendios	Frecuencia observada	Probabilidad del N° Inc.(Poisson)	Frecuencia esperada	χ^2 calculado
1	0	713	0,392974718	506,151437	84,53
2	1	262	0,367042316	472,751	93,95
3	2	153	0,171410597	220,777	20,81
4	3	76	0,053366404	68,736	0,77
5	4	49	0,012461189	16,050	67,64
6	5	20	0,002327775	2,998	96,41
7	6	7	0,000362361	0,467	91,45
8	7	4	0,000048350	0,062	248,99
9	8 a 13	4	0,000006290	0,008	1.966,80
Total		1.288			
λ		0,93401			

χ^2 (0,01 y 8 g.l.) =20,0901 y $< \chi^2$ calculado, por lo tanto se rechaza la hipótesis de que la variable provenga de una distribución de Poisson con un nivel de confianza del 99%

Tabla 31. Prueba de bondad de ajuste a una distribución Poisson de la población "número de incendios diarios" en la provincia de Ávila (Contraste χ^2 de Pearson)

Clase	Número de incendios	Frecuencia observada	Probabilidad del N° Inc.(Poisson)	Frecuencia esperada	χ^2 calculado
1	0	1089	0,462087968	827,137	82,90
2	1	375	0,356731911	638,550	108,78
3	2	172	0,137698518	246,480	22,51
4	3	78	0,035434419	63,428	3,35
5	4	36	0,006838843	12,242	46,11
6	5	16	0,001055917	1,890	105,33
7	6	9	0,000135861	0,243	315,31
8	7	4	0,000014984	0,027	588,58
9	8	4	0,000001446	0,003	6.173,94
10	9	3	0,000000124	2,220E-04	40.532,92
11	10 a 22	4	0,000000010	1,842E-05	868.415,79
Total		1.790			916.395,51
λ		0,772			

χ^2 (0,01 y 10 g.l.) =23,209 y $< \chi^2$ calculado, por lo tanto se rechaza la hipótesis de que la variable provenga de una distribución de Poisson con un nivel de confianza del 99%

Tabla 32. Prueba de bondad de ajuste a una distribución Poisson de la población "número de incendios diarios" en la localidad de Piedra Hita, Ávila (Contraste χ^2 de Pearson)

Clase	Número de incendios	Frecuencia observada	Probabilidad del Nº Inc.(Poisson)	Frecuencia esperada	χ^2 calculado
1	0	778	0,465770153	596,186	55,45
2	1	274	0,355877741	455,524	72,34
3	2	117	0,135956507	174,024	18,69
4	3	57	0,034626446	44,322	3,63
5	4	27	0,006614196	8,466	40,57
6	5 a 18	27	0,001154957	1,478	440,60
Total		1.280			631,27
λ		0,764			

χ^2 (0,01 y 5 g.l.)=15,086 y χ^2 calculado, por lo tanto se rechaza la hipótesis de que la variable provenga de una distribución de Poisson con un nivel de confianza del 99%

Tabla 33. Prueba de bondad de ajuste a una distribución Poisson de la población "número de incendios diarios" en la provincia de Alicante (Contraste χ^2 de Pearson)

Clase	Número de incendios	Frecuencia observada	Probabilidad del Nº Inc.(Poisson)	Frecuencia esperada	χ^2 calculado
1	0	960	0,593926325	886,138	6,16
2	1	360	0,309435615	461,678	22,39
3	2	115	0,080607978	120,267	0,23
4	3	43	0,013998919	20,886	23,41
5	4 a 6	14	0,002031164	3,030	39,71
Total		1.492			91,90
λ		0,522			

χ^2 (0,01 y 4 g.l.)=13,276 y χ^2 calculado, por lo tanto se rechaza la hipótesis de que la variable provenga de una distribución de Poisson con un nivel de confianza del 99%

Tabla 34. Prueba de bondad de ajuste a una distribución Poisson de la población "número de incendios diarios" en la provincia de Valencia (Contraste χ^2 de Pearson)

Clase	Número de incendios	Frecuencia observada	Probabilidad del Nº Inc.(Poisson)	Frecuencia esperada	χ^2 calculado
1	0	795	0,410245302	617,419	51,08
2	1	401	0,365528564	550,120	40,42
3	2	158	0,162842975	245,079	30,94
4	3	75	0,048364364	72,788	0,07
5	4	34	0,010773162	16,214	19,51
6	5 a 9	42	0,002245632	3,380	441,32
Total		1505			583,34
λ		0,892			

χ^2 (0,01 y 5 g.l.)=15,086 y χ^2 calculado, por lo tanto se rechaza la hipótesis de que la variable provenga de una distribución de Poisson con un nivel de confianza del 99%

Finalmente, los resultados de la prueba de bondad de ajuste a una distribución normal de la variable “área diaria afectada”, usando el estadístico de Kolmogorov-Smirnov, en la versión de Lilliefors se presenta en la Tabla 35. Como el valor D tabular obtenido de la muestra es menor que el valor D máximo calculado, se puede rechazar la hipótesis de normalidad con un nivel de confianza del 99%, para cada una de las provincias estudiadas.

Tabla 35. Prueba de bondad de ajuste con una distribución normal de la población "área diaria afectada " en las provincias estudiadas (Contraste de Kolmogorov Smirnov, versión de Lilliefors)

Provincias	Estadísticos estimados				Confianza del 99%
	D más	D menos	D máximo	D tabular (0,01)	
La Coruña	0,381	0,424	0,424	0,024	Dtab<Dmax Rechazar Ho
Lugo	0,361	0,417	0,417	0,024	Dtab<Dmax Rechazar Ho
Orense	0,418	0,448	0,448	0,029	Dtab<Dmax Rechazar Ho
Avila	0,438	0,464	0,464	0,024	Dtab<Dmax Rechazar Ho
Avila-P.Hita	0,440	0,465	0,465	0,029	Dtab<Dmax Rechazar Ho
Alicante	0,454	0,457	0,457	0,028	Dtab<Dmax Rechazar Ho
Valencia	0,486	0,480	0,480	0,027	Dtab<Dmax Rechazar Ho

6.2.3 Sensibilidad de los índices IPIG y FWI frente a la ocurrencia de incendios forestales

Los resultados presentados en los acápites 6.2.2.1 y 6.2.2.2, indican las diferencias en las formas de la distribución poblacional de los valores diarios de los índices IPIG y FWI, y en los valores de las medidas estadísticas alcanzados por ambos índices en las épocas y provincias estudiadas. Aunque se han dado algunas opiniones acerca del funcionamiento positivo y negativo de ambos métodos no se proporciona información sobre los funcionamiento frente a la ocurrencia de los incendios forestales. Con objeto de establecer comparaciones objetivas, se presentan los resultados del funcionamiento espacial (geográfico) y estacional (primavera y verano-otoño) de los índices ante la ocurrencia de incendios forestales, utilizando indicadores seleccionados por su aplicación en la gestión contra incendios forestales (Anexo 13 y 14).

6.2.3.1 Distribución de frecuencias de los índices uniformizados IPIG' y FWI'

Desde el punto de vista operativo es deseable que un índice meteorológico de incendios forestales refleje de manera adecuada la condición meteorológica de una zona cualquiera en un tiempo dado. De acuerdo a las zonas climáticas analizadas en este estudio, resulta adecuado que las mayores frecuencias relativas de los índices se ubiquen en la categoría de peligro baja en las provincias del Noroeste, que la magnitud de esta categoría vaya descendiendo de las provincias del Norte a las del Sur, y llegue a ser menor en las provincias Mediterráneas; así mismo, es deseable que las categorías de peligro moderada, alta, muy alta y extrema sean mayores en las provincias Continentales y Mediterráneas que en las Atlánticas. Mientras que desde el punto de vista temporal, resulta adecuado que la magnitud de la categoría de peligro baja sea mayor en la primavera que en el verano-otoño, y que la magnitud de las categorías de peligro moderada, alta, muy alta y extrema sean mayores en el verano que en la primavera, en cualquiera de las provincias estudiadas.

Por otra parte, la homogeneización de los índices IPIG y FWI, produce una clara discretización de los valores diarios y de ello se deriva la ausencia de ciertos intervalos de clase en la primavera y el verano-otoño, en las provincias estudiadas. La ausencia es más frecuente en el índice IPIG' porque es una variable discreta, y se hace extrema durante la primavera en Orense (con ausencia de cuatro intervalos). Como el índice FWI es una variable continua, su homogeneización (FWI') produce alguna ausencia de los intervalos en Piedra Hita, Ávila (tres) y Alicante (uno) en la primavera, y en Lugo (uno) en el verano-otoño.

Las frecuencias relativas de los índices IPIG' y FWI' en la primavera según las provincias estudiadas puede ser observado en la Figura 12. El pico del polígono de las frecuencias del índice IPIG' se presenta en la categoría de peligro moderada (clase 20-30) en las provincias de La Coruña (29,81%, 161 días) y Lugo (31,11%, 168 días); en tanto que en la provincia de Orense el pico se presenta en la categoría alta (40-50) con aproximadamente el 50% de los valores de primavera (41,53%, 157 días). Los resultados indican que el 34,15% de los valores (162 días en promedio) pertenecen a las clases de peligro moderada y alta en las provincias del Noroeste en la época de primavera. En el caso de la provincia de Orense la cuantiosa frecuencia de la categoría alta podría ser explicada por el microclima de la provincia, caracteriza por

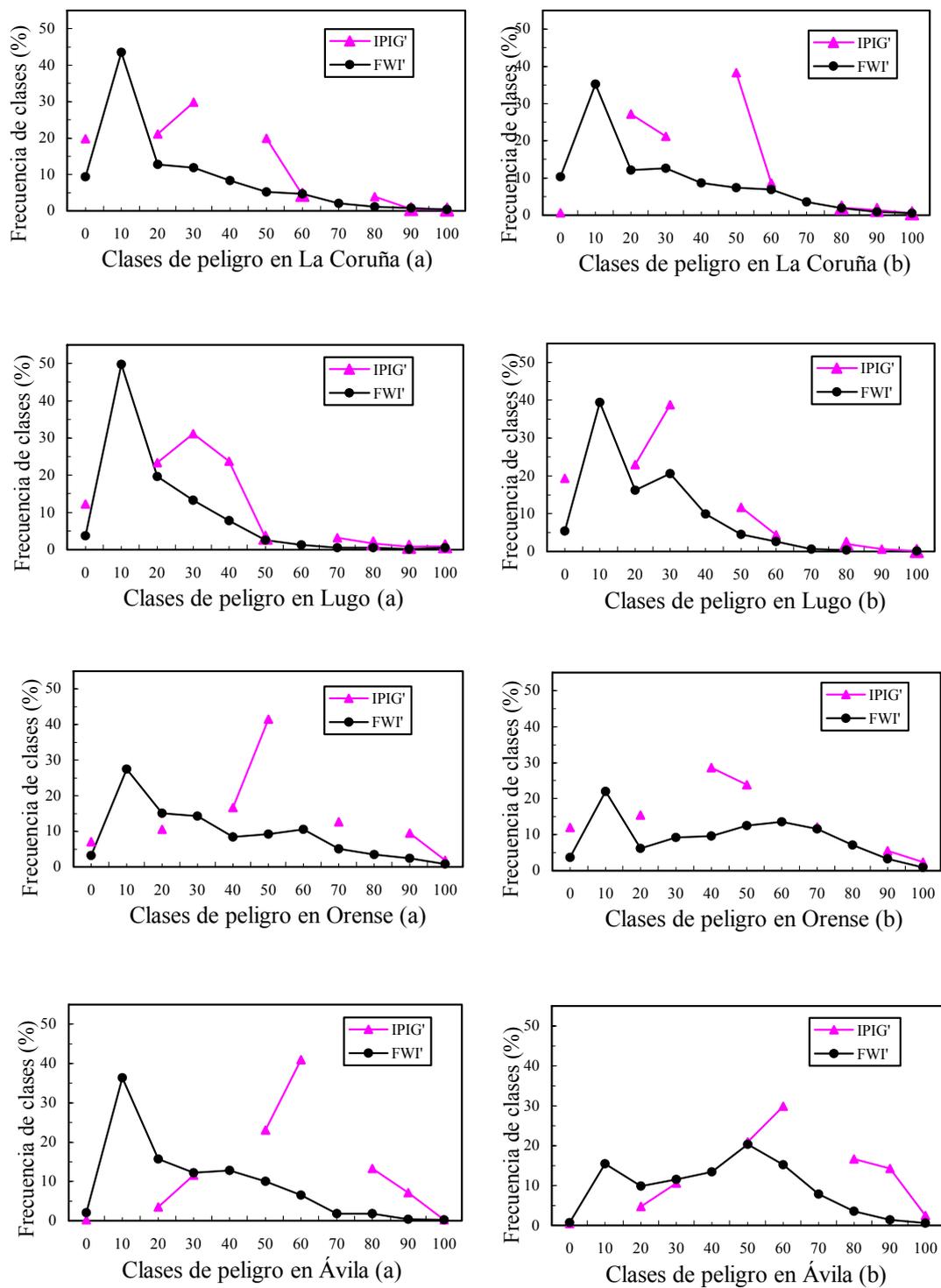


Figura 12. Frecuencias relativas, del índice de Peligro de Ignición homogeneizado IPIG' e Índice Meteorológico de Incendios forestales homogeneizado FWI' en los intervalos de clase, en la primavera (a) y en el verano-otoño (b) según provincias estudiadas

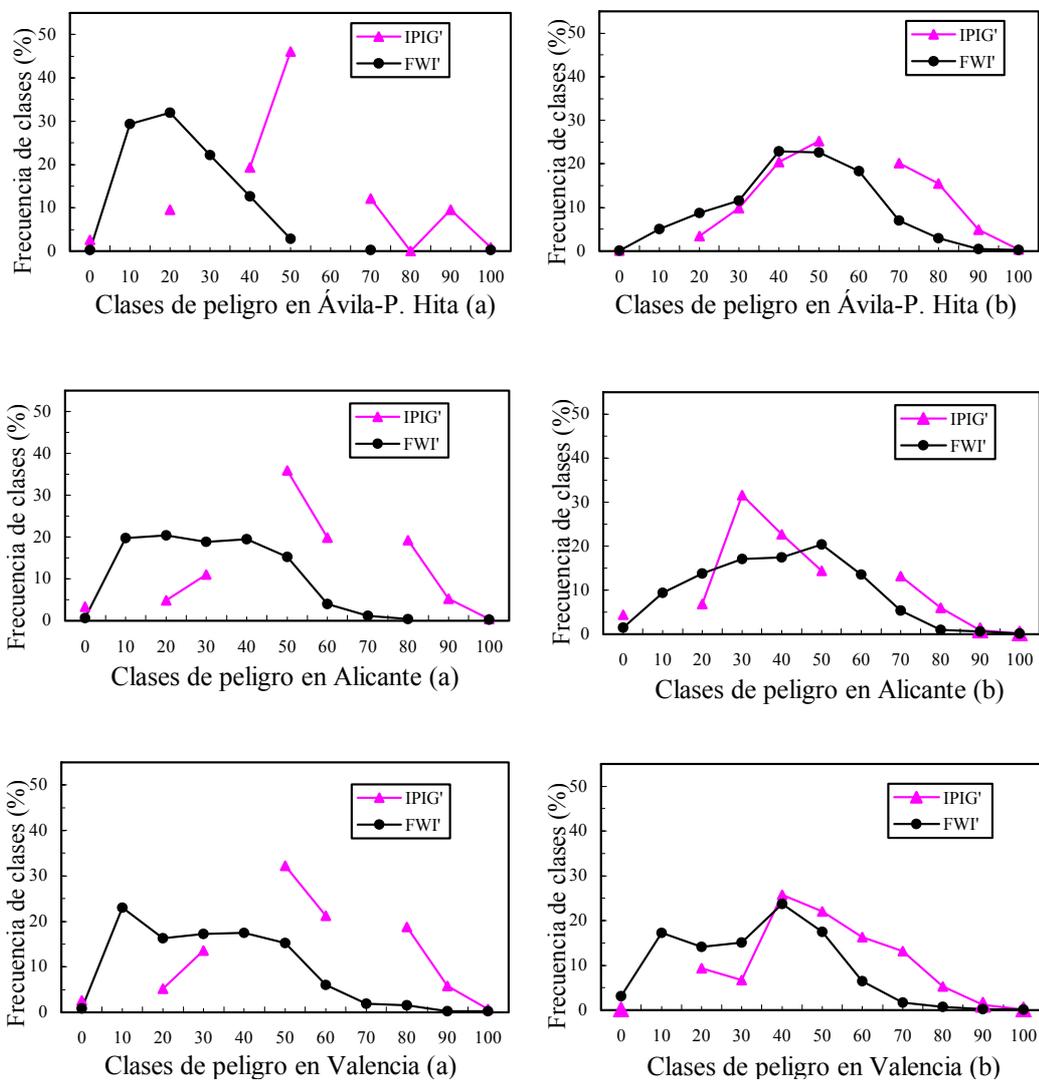


Figura 12. Frecuencias relativas del índice de Peligro de Ignición homogeneizado IPIG' e Índice Meteorológico de Incendios forestales homogeneizado FWI' en los intervalos de clase, en la primavera (a) y en el verano-otoño (b) según provincias estudiadas (Continuación)

ser la menos húmeda y más cálida de las provincias del Noroeste (Sousa 1988a) en la primavera, aunque aún así la frecuencia relativa es alta. En tanto el índice FWI', muestra el pico del polígono de frecuencias relativas en la categoría baja (0-10) en las provincias de La Coruña (43,52%, 235 días), Lugo (49,81%, 269 días) y Orense (27, 51%, 104 días); aunque las frecuencias relativas en las provincias del Noroeste

representan cerca del 50% de los valores, los resultados son razonables por las características climáticas de estas provincias en la época de primavera.

En la provincia continental de Ávila se espera que el pico de frecuencias se produzca en proporciones moderadas en los intervalos superiores a 20, debido a las características climáticas de esta zona en la primavera. En Ávila y Ávila-Piedra Hita, el índice IPIG' produce el pico en el intervalo 50-60 y 40-60 respectivamente, con cerca de la mitad de los valores de la primavera en la categoría de peligro alta en Ávila (41,02%, 201 días) y Ávila-Piedra Hita (46,12%, 160 días); frecuencias relativas demasiado altas para la primavera, aunque se trate de una provincia Continental. Mientras, el pico con el índice FWI' en esta provincia se produce en la categoría de peligro baja (0-10), con los datos de la estación meteorológica de Ávila (36,33%, 178 días), y con datos de la estación de Piedra Hita el pico se produce en el intervalo 10-20 (31,99%, 111 días); la baja frecuencia de los intervalos superiores a 20, posiblemente se deba a la ubicación altitudinal de las estaciones meteorológicas.

En las provincias de Alicante y Valencia el índice IPIG' muestra dos picos: el primero en la categoría alta (40-50), y el tercero en la categoría muy alta (70-80), de modo que dos intervalos superan el 70% de los valores de primavera (75% en Alicante y 72,26 % en Valencia), frecuencias relativas muy altas para la primavera, aunque se trate de provincias Mediterráneas. Mientras el índice FWI' presenta el pico en el intervalo 20-60 en éstas provincias, así las categorías moderada y alta (20-60) alcanzan frecuencias relativas máximas aproximadas a 23%.

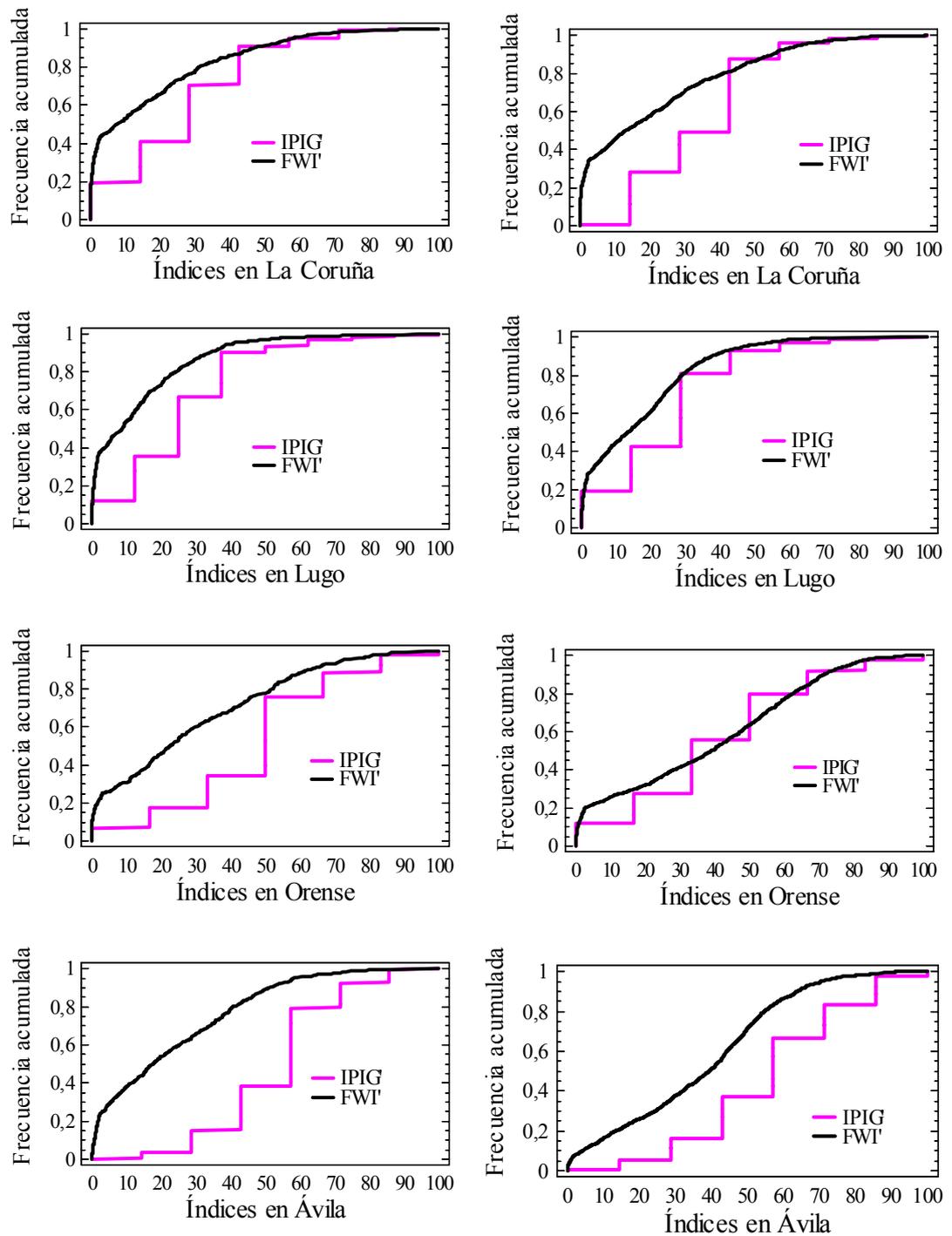
La distribución de los valores de los índices IPIG' y FWI' en los intervalos de clase del verano-otoño y según las provincias estudiadas puede ser observada en la Figura 12; comparando las frecuencias relativas de los índices IPIG' y FWI' del verano-otoño con las alcanzadas en la primavera se obtienen los siguientes resultados. En la provincia de La Coruña, el pico del índice IPIG' ha cambiado de posición del intervalo 30-40 al intervalo 40-50 (38,31%, 498 días); en la provincia de Lugo el pico se mantiene en la categoría moderada, 20-30, (38,77%, 504 días); y en la provincia de Orense el pico ha descendido en ubicación y magnitud respecto a los valores alcanzados en la primavera, pasando del intervalo 40-50 al intervalo 30-40, y de 41,53% (157 días) a 28,57% (260 días). Los resultados de la provincia de Orense llaman la atención, porque en el verano el clima es más seco y caluroso (en el día) que en el resto de las

provincias del Noroeste (Sousa, 1988a). Por su parte, el índice FWI', mantiene el pico de las frecuencias relativas en la categoría baja (0-10) en las provincias de La Coruña (35,23%, 458 días), Lugo (39,48%, 513 días) y Orense (22,09%, 201 días), pero con menor magnitud a las alcanzadas en la primavera. Este descenso origina un incremento de las frecuencias relativas en las clases de peligro mayores en estas provincias en la época de verano-otoño.

Las frecuencias relativas del índice IPIG' en las provincias de Ávila, Ávila-Piedra Hita, Alicante y Valencia en el verano-otoño, muestran un descenso de las ubicaciones en la escala de peligro y de la magnitud de las frecuencias (sobre todo en las provincias de Alicante y Valencia), cuando se les compara con la ubicación y magnitud alcanzadas en la primavera. Al tiempo que, el índice FWI' en estas mismas provincias muestra el pico de frecuencia en la categoría alta, es decir, en una categoría mayor a las encontrada en la primavera, llegando hasta el intervalo 40-50 como máximo; las clases adyacentes presentan valores de frecuencias similares al pico pero no superan la tercera parte de los valores del verano-otoño.

En la Figura 13 (Anexo 15 y 16) se presenta nuevas evidencias del funcionamiento de ambos índices, esta vez ante las frecuencias relativas acumuladas de la primavera y el verano-otoño en las provincias estudiadas. Se observa que la pendiente en el origen de los polígonos (intervalo 0-20) de frecuencias del índice IPIG' es menor que la del índice FWI' en todas las provincias en la primavera y el verano-otoño. En general, se espera que el polígono de las frecuencias relativas acumuladas se sature en la categoría de peligro baja (intervalo 0-20) en las provincias del Noroeste, y en las categorías de peligro moderada y alta (intervalo 20-60) en las provincias Continentales y Mediterráneas tanto en la primavera como el verano-otoño.

En el verano-otoño, en la provincia de La Coruña las frecuencias relativas acumuladas del índice IPIG' en los intervalos 0-20 han descendido a 27,92% con respecto a las frecuencias de la primavera (40,92%); contradictoriamente en las provincias de Lugo y Orense las frecuencias de estas clases han aumentado de 35,55% a 42,31% en Lugo y de 17,72% a 27,36% en Orense. Por su parte, las frecuencias relativas acumuladas del índice FWI' en el verano-otoño en los intervalos 0-20 continúa siendo alta en las provincias de La Coruña (57,62%), Lugo (61,17%) y Orense



Primavera (a)

Verano y otoño (b)

Figura 13. Frecuencias acumuladas de los valores del índice de Peligro de Ignición homogeneizado IPIG' e Índice Meteorológico de Incendios forestales homogeneizado FWI' en la primavera (a) y en el verano-otoño (b), según las provincias estudiadas

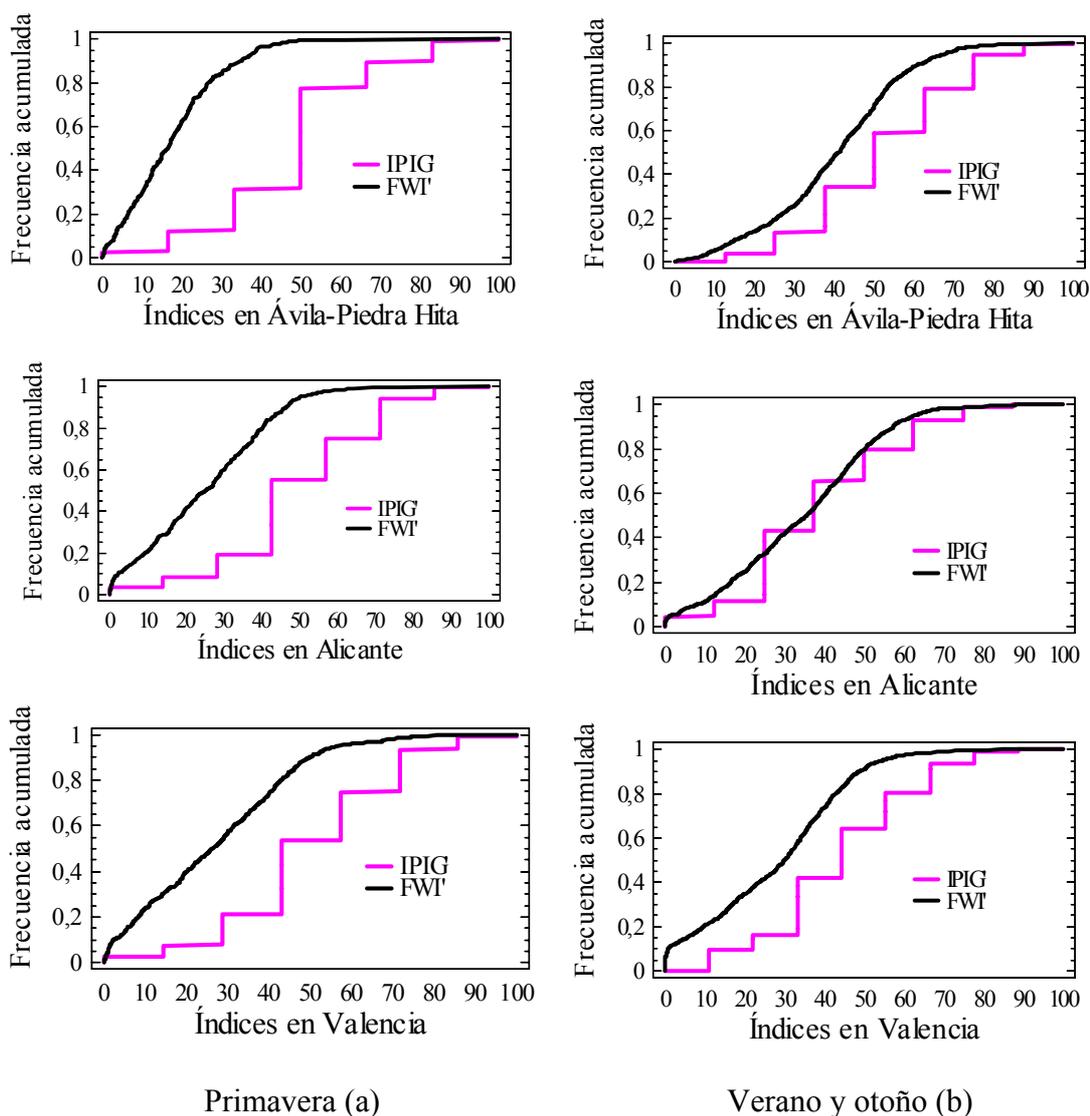


Figura 13. Frecuencias acumuladas de los valores del índice de Peligro de Ignición homogeneizado IPIG' e Índice Meteorológico de Incendios forestales homogeneizado FWI' en la primavera (a) y en el verano-otoño (b), según las provincias estudiadas (Continuación)

(32,09%); aunque de menor magnitud que las frecuencias encontradas en la primavera (La Coruña 74,93%, Lugo 72,14% y Orense 45,76%). Los resultados concuerdan con los rasgos climáticos del verano de estas provincias (mayor temperatura, menor humedad relativa y menor precipitación).

En el caso de la provincia de Ávila las frecuencias relativas acumuladas para los índice IPIG' y FWI se saturan en la categoría alta (intervalo 50-60) pero con diferente

magnitud en la primavera y en el verano-otoño. Así, la frecuencia relativa acumulada del índice IPIG' es 79,38% y 77,52% de los valores de primavera en Ávila y Ávila-Piedra respectivamente; ambas frecuencias son superiores a las del verano-otoño en Ávila (66,69%) y en Ávila-Piedra Hita (59,06%). Aunque, Ávila es una provincia climática Continental, las frecuencias encontradas son muy elevadas para la época de primavera, sobre todo si se toma en cuenta que las frecuencias relativas acumuladas hasta el intervalo 10-20 inclusive es menos del 13% tanto en la primavera como en el verano. En el caso del índice FWI' la frecuencia relativa acumulada en el intervalo 50-60 es 95,71% y 99,43% de los valores de primavera en Ávila y Ávila-Piedra Hita respectivamente; mientras en el verano alcanza el 86,62% en Ávila y 89,28% en Ávila-Piedra Hita. A primera vista, las frecuencias acumuladas son demasiado elevadas para esta provincia en la primavera y aún en el verano-otoño; sin embargo hay que recordar la alta frecuencia del intervalo 0-20 en la primavera (Ávila 54,08% y Ávila-Piedra Hita 61,67%) y en el verano-otoño (Ávila 26,08% y Ávila-Piedra Hita 13,92%).

Por otro lado, las frecuencias relativas acumuladas de los índices IPIG' y FWI' en las provincias de Alicante y Valencia se saturan en el intervalo 50-60 en la primavera y en el verano-otoño; las frecuencias relativas acumuladas del verano-otoño son generalmente mayores a las de la primavera para ambos índices. Las frecuencias relativas acumuladas del índice IPIG' en intervalo 50-60 alcanza el 79,90% y 80,29% de los valores del verano-otoño en Alicante y Valencia respectivamente, resultados ligeramente superiores a los encontrados en la primavera (75% en Alicante y 74,84% en Valencia). En tanto que, la frecuencia relativa acumulada del índice FWI' en el intervalo 50-60 alcanza el 92,89% en Alicante y el 97,31% en Valencia, en el verano-otoño; la frecuencia acumulada de Alicante es ligeramente inferior a la frecuencia relativa acumulada de la primavera (98,23%); mientras la frecuencia de Valencia es ligeramente superior a la de la primavera (96,13%). Debido a la alta frecuencia de la categoría de peligro baja 0-20 (alrededor de 40% de los valores de primavera y 14% de los valores del verano) en el índice FWI', las frecuencias relativas acumuladas no resultan exageradamente altas para esta época del año.

Para terminar el análisis de la frecuencia relativa acumulada de los índices IPIG' y FWI' conviene determinar su comportamiento en las categorías de peligro muy alta y extrema (intervalo 60-100) aisladamente en las provincias estudiadas en la época de primavera y verano-otoño. El índice IPIG' presenta frecuencias muy altas en la

primavera en las provincias de Orense (24,07%, 91 días), Ávila (20,61%, 101 días), Ávila-Piedra Hita (22,48%, 78 días), Alicante (25%, 113 días) y Valencia (25,17%, 117 días), resultados elevados sobre todo para las condiciones meteorológicas de primavera, y que podrían dar lugar a falsas alarmas; mientras las frecuencias en el intervalo 60-100 en las provincias de La Coruña y Lugo son alrededor del 5% (4,82%, 26 días y 6,49%, 35 días respectivamente) de los valores de primavera. En el verano-otoño las frecuencias acumuladas del índice IPIG' en el intervalo 60-100 han descendido en las provincias de La Coruña (3,85%, 50 días), Lugo (2,85%, 37 días), Orense (20,22%, 184 días), Alicante (20,10%, 209 días) y Valencia (19,71%, 205 días), y ha aumentado drásticamente en la provincia de Ávila (33,31%, 433 días) y en la localidad de Ávila-Piedra Hita (40,94%, 382 días).

Respecto a las frecuencias relativas acumuladas en las categorías de peligro muy alta y extrema (intervalo 60-100) del índice FWI' en primavera, estas son menores del 5% en las provincias de La Coruña (4,26%, 23 días), Lugo (1,86%, 10 días), Ávila (4,29%, 21 días), Ávila-Piedra Hita (0,58%, 2 días), Alicante (1,77%, 8 días) y Valencia (3,87%, 18 días); en la provincia de Orense es 11,64% (44 días) debido al microclima Mediterráneo de esta provincia, posiblemente. Mientras las frecuencias del índice FWI' en el intervalo 60-100 en el verano-otoño son más altas en todas las provincias [La Coruña (6,84%, 89 días), Orense (22,96%, 209 días), Ávila (13,38%, 174 días), Piedra Hita (10,72%, 100 días), Alicante (7,11%, 74 días) y Valencia (2,69%, 28 días)], a excepción de la provincia de Lugo donde las frecuencias han descendido ligeramente (1,22%, 16 días). Las altas frecuencias acumuladas de las provincias de Orense y Ávila se explicarían por el hecho de que estas provincias se caracterizan por tener los veranos más secos y tórridos de la península (Sousa, 1988a, Roldán, 1987).

De acuerdo con los valores de las frecuencias relativas absolutas y relativas acumuladas de los índices IPIG' y FWI' se puede realizar las siguientes afirmaciones. El índice IPIG' tiene elevadas frecuencias relativas y frecuencias relativas acumuladas de las categorías de peligro moderada y alta en las provincias del Noroeste, Continental y Mediterráneas, tanto en la primavera como en el verano-otoño; son más elevadas en la primavera que en el verano-otoño en las provincias de Orense, Ávila, Ávila Piedra Hita, Alicante y Valencia, y las frecuencias relativas acumuladas en las categorías de peligro muy alta y extrema son de mayor magnitud en la primavera que en el verano-otoño; de manera que la pequeña variación de las frecuencias en los intervalos de clase

en la mayoría de provincias estudiadas, asociada a un comportamiento irregular y extremo de algunos intervalos de clase tanto en la primavera como en el verano-otoño, determinan que el método sea poco práctico. El CLIF (1977) informó de la pérdida de confianza en el método, tras algunas observaciones de tipo cualitativo. Mientras tanto, la distribución de las frecuencias relativas absolutas y acumuladas del índice FWI' en los intervalos de clase reflejan de manera coherente las condiciones meteorológicas y climáticas en términos espaciales y temporales. Las frecuencias de mayor magnitud se ubican en las categorías de peligro baja en todas las provincias en la primavera; en el verano-otoño las frecuencias de mayor magnitud se ubican en las categorías de peligro baja en las provincias del Noroeste, y en las categorías de peligro moderada y alta en las provincias Continentales y Mediterráneas. Además, las frecuencias relativas en las diferentes clases de peligro tienen una magnitud razonable en las provincias del Noroeste y son conservadoras en las provincias Continental y Mediterráneas, resultados que evitarían dar falsas alarmas.

Las altas frecuencias de las categorías de peligro moderada, alta, muy alta y extrema del índice IPIG' en las provincia y épocas estudiadas pueden ser explicadas en términos de la estructura del índice. Ésta no considera la precipitación ni su efecto acumulado, por lo tanto, refleja parcialmente las características meteorológicas y climáticas de las provincias estudiadas, ya que el valor es producido únicamente por la temperatura y la humedad relativa (observar las frecuencias en la provincia Ávila, la de menor humedad relativa de la península). A este nivel es importante mencionar que el instrumento que mide la humedad relativa es todavía uno de los menos precisos y exactos. Por otro parte, la variable IPIG' muestra poca variación de sus frecuencias con la altitud de las estaciones meteorológicas (Ávila y Ávila-Piedra Hita).

6.2.3.2 Los valores diarios de los índices uniformizados IPIG' y FWI' y su relación con los días en que se producen incendios

En general se espera que los valores más altos de los índices meteorológicos clasifiquen un mayor número de días con incendios y viceversa; Viegas et al. (1999) afirmó lo mismo cuando evaluó el comportamiento del FWI en regiones de Portugal, Italia, y Francia. En la Figura 14 se muestra los porcentajes de los días en que se han producido incendios de acuerdo a los intervalos de clase de los índice IPIG' y FWI', en la primavera, el verano-otoño, en las provincias estudiadas.

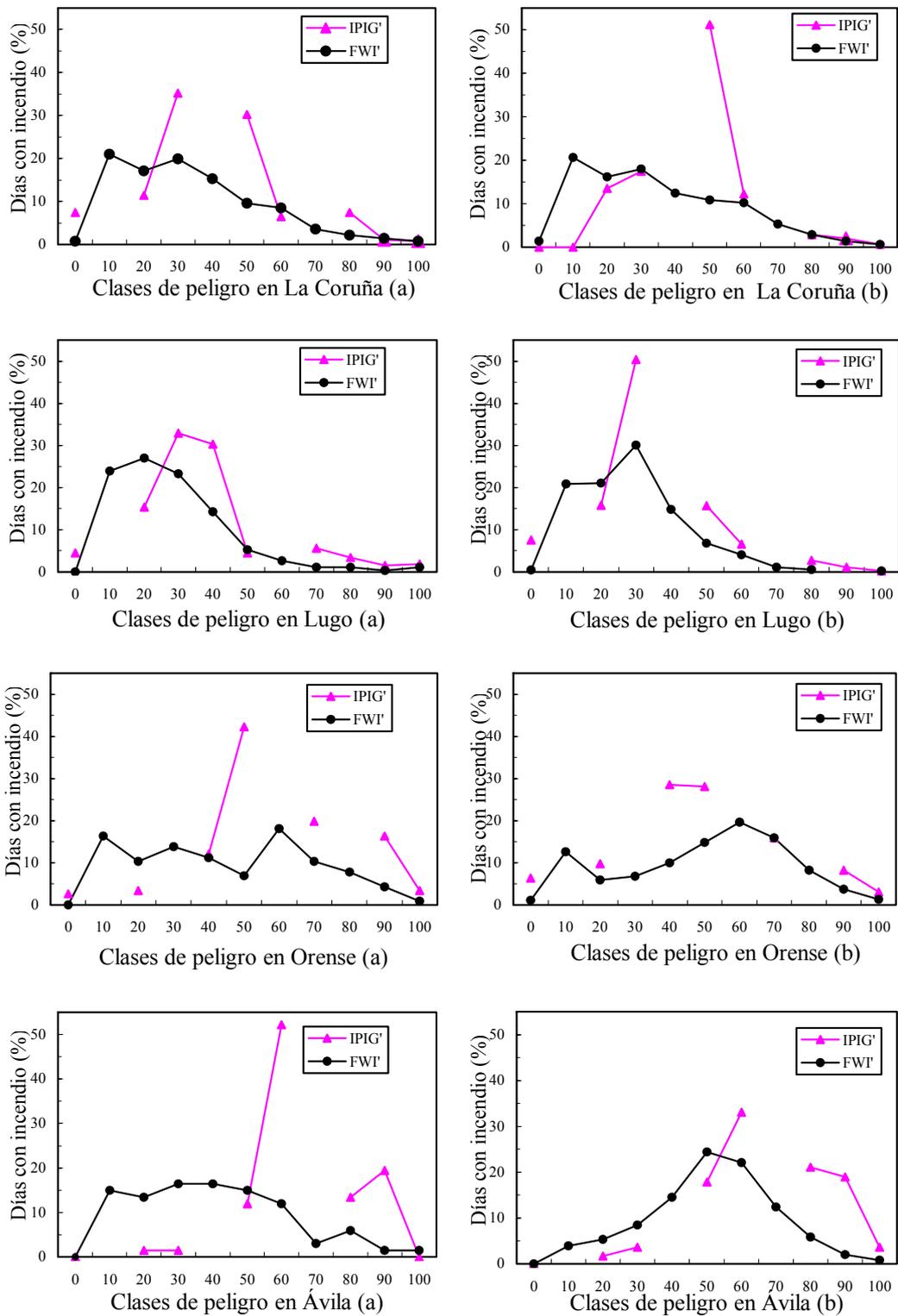


Figura 14. Frecuencias relativas de los días con incendios en los intervalos de clase de los índices homogeneizados IPIG' y FWI', en la primavera (a) y en el verano-otoño (b) según provincias estudiadas

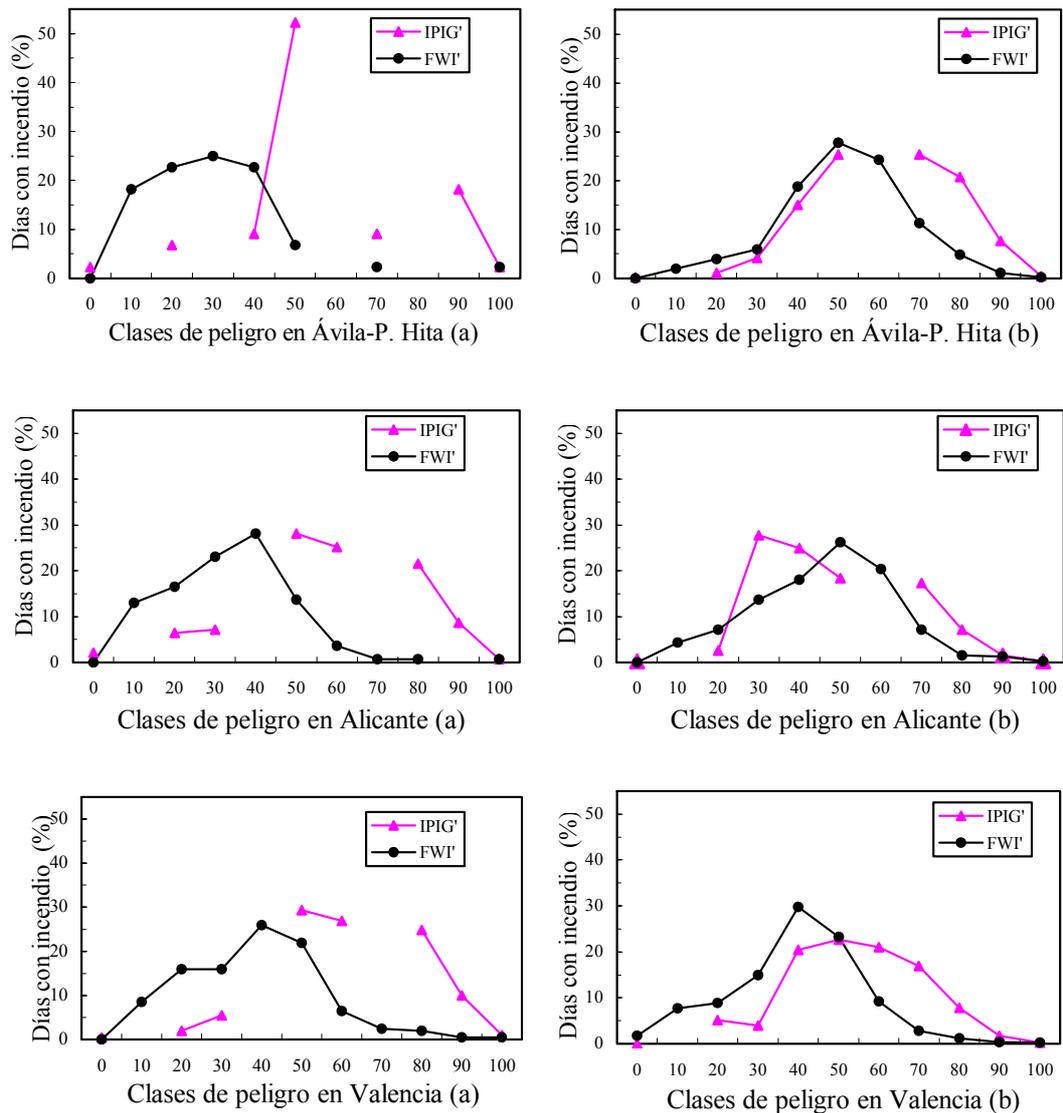


Figura 14. Frecuencias relativas de los días con incendios en los intervalos de clase de los índices homogeneizados IPIG' y FWI' en la primavera (a) y en el verano-otoño (b), según provincias estudiadas (Continuación)

Los polígonos de frecuencias relativas de los días con incendio indicados por el índice IPIG', muestran un incremento del porcentaje de los días con incendios hasta la categoría de peligro alta, en promedio 45,7 en la primavera y 42,8 en el verano-otoño. En términos generales, los porcentajes tienden a descender en todas las provincias tanto en la primavera como en el verano-otoño a partir de la clase 50; el descenso del porcentaje de los días con incendio indicados por el índice IPIG' es menor que el indicado por el índice FWI' sobre todo en las provincias de Ávila, Ávila-Piedra Hita,

Alicante y Valencia tanto en la primavera como en el verano-otoño. Respecto al porcentaje de días con incendios indicados por el índice FWI', se nota un incremento del porcentaje hasta la categoría alta, en promedio 40 en primavera y 44,28 en verano-otoño, a partir de la cual el polígono muestra un marcado descenso en ambas estaciones en todas las provincias estudiadas.

Los resultados no concuerdan del todo con lo esperado, ya que cuando los índices IPIG' y FWI' alcanzan valores mayores de 50 no clasifican un mayor número de días en que ocurren incendios tanto en la primavera y verano-otoño en las provincias estudiadas. La tan sólo ligera habilidad de los índices IPIG' y FWI' para clasificar el número de días con incendios puede ser explicada por dos aspectos: la actividad humana y los cambios en las condiciones naturales de las provincias estudiadas.

El primer aspecto se refiere a que los incendios forestales son originados fundamentalmente por el hombre, quienes al realizar actividades agrícolas, pecuarias, apícolas y forestales, ocasionan incendios. La DGCN (2002), informa que en las provincias del Noroeste, en las Comunidades Continentales y Mediterránea el 82,6%, 49,1% y el 55,8% del número de siniestros respectivamente, se debe a causas intencionadas y negligencias del ser humano. Sin embargo, los pobladores llevan a cabo las actividades agro-pecuaria y forestales generalmente dentro de un rango de días en que las condiciones meteorológicas son favorables al desarrollo de incendios pero que no incluyen necesariamente las condiciones más extremas, quizá por temor a provocar grandes incendios, similares afirmaciones aparecen en Vázquez (1996) y Mees (1991). Otro aspecto de la actividad humana a considerar es el régimen jurídico y administrativo de prevención y lucha contra los incendios forestales adoptado por el Estado y por las Comunidades Autónomas que restringe la posibilidad de que se inicien incendios muy especialmente en aquellos días con condiciones meteorológicas extremas (verano). Minnich (1989) afirma lo mismo al estudiar los efectos de la extinción en el régimen de los incendios forestales en chaparrales de San Diego, Estados Unidos.

El segundo aspecto tiene que ver con la posible influencia de la precipitación en la acumulación del combustible vegetal en el largo plazo (Viegas y Viegas, 1994), y de las sequías (Mestre, 2003 y Peral et al., 2000) factores ambientales que inciden sobre la mayor o menor ocurrencia de incendios forestales.

6.2.3.3 Los índices uniformizados IPIG' y FWI' y su relación con el número diario de incendios forestales

La Figura 15 muestra el número medio de incendios diarios en los intervalos de clase de los índices IPIG' y FWI' en el verano-otoño en las provincias estudiadas. Las figuras del número medio de incendios diarios en los intervalos de clase de los índices IPIG' y FWI' en la primavera, se han omitido ya que son similares a las del verano-otoño, y conclusiones poco relevantes pueden ser interpretadas a partir de ellas.

Aparte de que el mayor número medio de incendios diarios lo presentan las provincias de La Coruña y Lugo, se observa que el número medio de incendios diarios aumenta conforme se incrementan los valores de los índices IPIG' y FWI' en todas las provincias estudiadas; de acuerdo a la tendencia gráfica detectada se puede definir una función de correlación lineal en todas las provincias. Es importante mencionar que las curvas del índice IPIG' muestran menor pendiente en todas las provincias, con excepción de las provincias de Ávila-Piedra Hita, y Alicante en los intervalos inferiores a 50. Mientras, las curvas del número medio de incendios en las clases de peligro del índice FWI', muestran la mayor pendiente, y por lo tanto la relación lineal entre estas variables es más evidente.

Dado que se observa una relación lineal entre el número medio de incendios diarios y el valor medio de los índices en los intervalos de clase de los índices IPIG' y FWI', se puede predecir el número medio de incendios para un día de primavera, verano y otoño cualquiera en las provincias estudiadas. Por este motivo se construyeron modelos de predicción para cada índice, en un intento de mostrar el grado de linealidad en la dependencia de las variables y con ello la capacidad de cada método para predecir incendios forestales, actividad comúnmente realizada en labores de prevención.

Antes de presentar los modelos construidos es importante mencionar, que las variables "IPIG", "FWI", "número de incendios diarios" y "área diaria afectada" tienen una función de distribución diferente de la normal (Capítulo 6.2.2.4), motivo por el que un análisis de regresión, no sería totalmente adecuado ya que este enfoque exige la hipótesis de normalidad de los residuos. Sin embargo, teniendo en cuenta el teorema

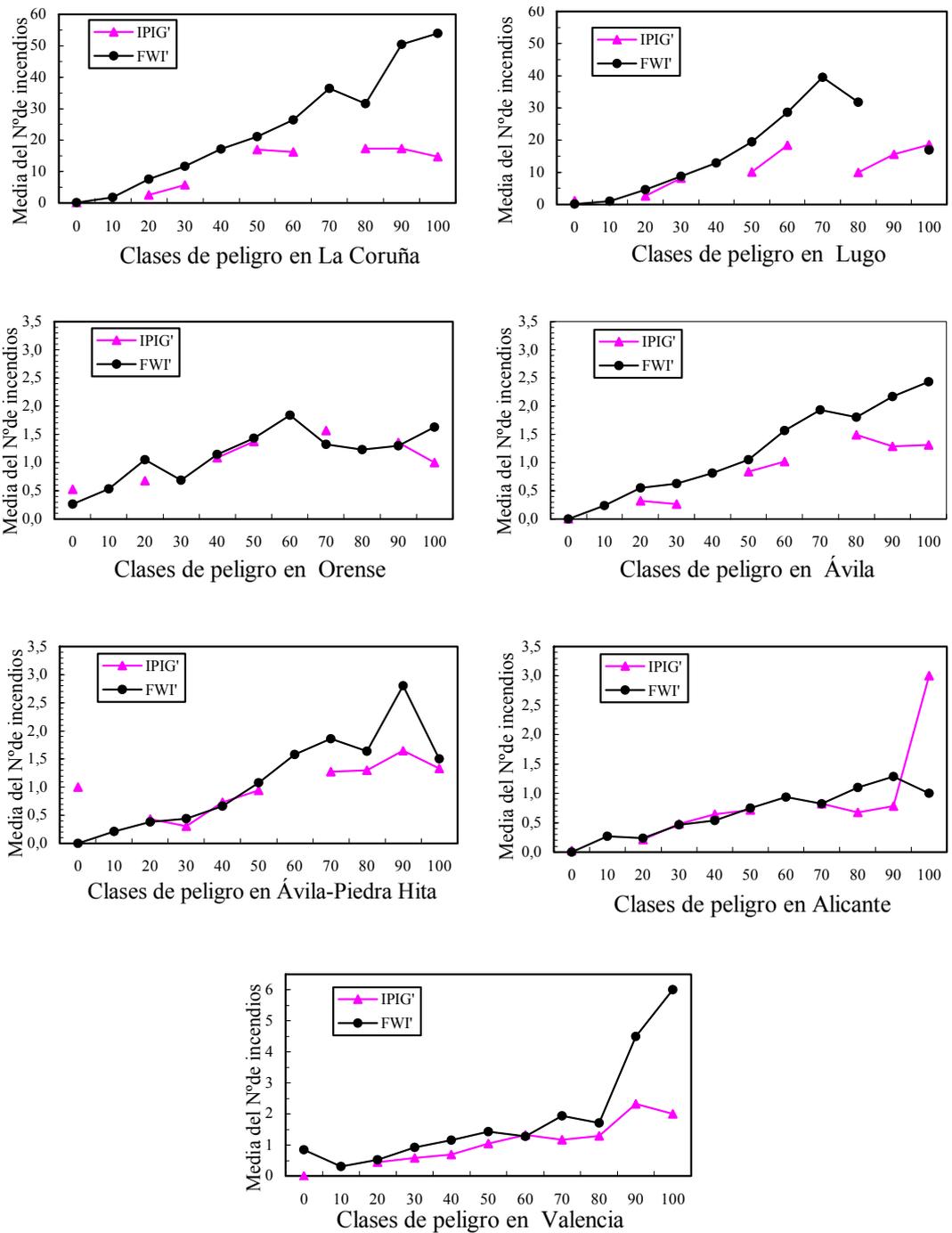


Figura 15. Número medio diario de incendios según valores del Índice de Peligro de Ignición homogeneizado IPIG' y el Índice Meteorológico de Incendios Forestales homogeneizado FWI' en el verano-otoño, en las provincias estudiadas

“central del límite” que establece que, sea cual sea la población base, la media muestral es asintóticamente normal con media “ μ ” y desviación típica “ σ/\sqrt{n} ” (Peña, 1989a), se realiza el análisis de regresión lineal para el número medio diario de incendios. Las rectas de regresión se han construido con las medias de los valores diarios en los intervalos de clase de los índices IPIG y FWI (sin homogeneizar) y las medias del número de incendios diarios en esos intervalos (Anexo 17). Así las ecuaciones de regresión lineal predicen el valor medio esperado del número de incendios diarios ($N^{\circ}I$), para los valores concretos de los índices IPIG y FWI respectivamente; con un nivel de confianza del 99%.

En la Tabla 36 se presentan las ecuaciones de los modelos de regresión del número de incendios diarios y los parámetros que miden la eficacia de los modelos de regresiones en la primavera para las provincias estudiadas. De acuerdo con el valor medio del coeficiente de determinación (R^2), se afirma que el 58,25% de la variabilidad del número medio diario de incendios es explicada por el modelo de regresión construido con el índice IPIG en las provincias estudiadas en la primavera; los valores más bajos de “ R^2 ” lo presentan las provincias de Alicante y Ávila. Mientras, el modelo de regresión construido con el índice FWI, tiene un “ R^2 ” con el que explica el 69,90% de la variabilidad del valor medio diario del número de incendios forestales diarios en cada clase de peligro, en el conjunto de todas las provincias estudiadas, en la primavera. Por otra parte, los mayores valores medios del coeficiente de correlación (ρ) y del coeficiente β , que es la pendiente de la recta de regresión (coeficiente de la regresión), lo muestran los modelos construidos con el índice FWI. Se destaca el alto valor del coeficiente de correlación en todas las provincias a excepción de la provincia de Orense. De acuerdo con estos dos últimos parámetros estadísticos, se puede afirmar que la variable “número de incendios diarios” mantiene una relación lineal más ajustada con el “índice FWI”, expresando de forma clara una mayor dependencia lineal.

Las ecuaciones de los modelos de predicción del índice IPIG y FWI, en el verano-otoño se muestran en la Tabla 37. En general, los valores de los parámetros de las rectas de regresión se incrementan en el verano-otoño en ambos índices respecto a los valores de la primavera. El incremento es notablemente mayor en los modelos de regresión construidos con el índice FWI en todas las provincias estudiadas. De acuerdo con la media del coeficiente de determinación (R^2), el índice IPIG explica el 69,12% de

la variabilidad del valor medio diario del número de incendios forestales en cada intervalo de clase, en el conjunto de todas las provincias estudiadas, correspondiendo el valor más bajo a la provincia de Orense donde el “ R^2 ” es sólo 0,4350. Mientras, los modelos de regresión construidos con el índice FWI, explican en promedio el 82,83% de variabilidad del valor medio diario del número de incendios forestales en cada intervalo de clase, en el conjunto de todas las provincias estudiadas en el verano-otoño. Así mismo, los valores medios del coeficiente “ ρ ” y “ β ” son muy buenos en el modelo construido con el índice FWI. Se destaca el valor del coeficiente de correlación, cuyo valor es próximo a la unidad (relación lineal casi exacta), expresando así una estrecha y mayor dependencia lineal de la variable “número de incendios diarios” y la variable “índice FWI” en todas las provincias estudiadas.

De acuerdo con los parámetros de regresión lineal de los índices IPIG y FWI, se puede afirmar que la eficacia del modelo construido con el índice FWI para explicar su relación con el valor medio diario del número de incendios forestales en cada intervalo de clase, en el conjunto de todas las provincias estudiadas es globalmente mayor que la del índice IPIG en la primavera y en el verano-otoño; aunque es notablemente buena en el verano-otoño. De acuerdo con estos resultados se puede afirmar entonces que el índice FWI indica muy bien la probabilidad de que se inicien los incendios en las épocas y las provincias estudiadas. Pocos estudios han puesto de manifiesto la importancia de las condiciones meteorológicas en la explicación del número de incendios forestales en la Península, Vázquez (1996) por ejemplo, encontró valores de “ R^2 ” $> 0,5$ en las regresiones entre el número anual de incendios y la temperatura máxima para la zona Norte y Centro de España; mientras en el Levante encontró valores de “ R^2 ” $> 0,6$ en las regresiones entre el número anual de incendios y la precipitación total con un nivel de confianza del 95%.

Finalmente, es importante mencionar que de acuerdo a la naturaleza de la variable “número de incendios diarios”, la aleatorización de la muestra estudiada, y los valores diarios de las variables “índices IPIG y FWI” fijados en una escala de peligro adecuada, se puede deducir que la relación lineal existente entre número medio de incendios diarios y los valores medios de los índices IPIG y FWI es de tipo causal, es decir, que la relación entre las condiciones meteorológicas medidas a través de los índices IPIG y FWI y los incendios forestales es una relación causa-efecto, y no

solamente una asociación de tipo lineal entre las variables. Este resultado original, constituye un avance en el conocimiento de las variables que influyen en el fenómeno de los incendios forestales.

6.2.3.4 Los índices uniformizados IPIG' y FWI' y su relación con el área diaria afectada por incendios forestales

La Figura 16 muestra el área diaria media afectada por los incendios según los intervalos de clase de los índices IPIG' y FWI' en el verano-otoño en las provincias estudiadas. Los resultados gráficos de este indicador en el caso de la primavera no se presentan ya que su comportamiento es similar al del verano-otoño.

En general, el área media afectada aumenta con los intervalos de clase de los índices IPIG' y FWI' en las provincias estudiadas; aunque la curva del área media obtenida con el índice IPIG' tiene menor pendiente que con el índice FWI' en todas las provincias. Es importante destacar que en la clase de peligro extrema (80-100) ambos métodos experimentan un descenso. El descenso puede ser explicado por el tamaño de la muestra en el intervalo 80-100, debido al reducido número de días en que los índices, especialmente el FWI', alcanzan valores mayores de 80 (Anexo18), generando una baja representación estadística de la muestra en este intervalo; ello a pesar de estudiar 11.035 días, de los cuales en el 48,35% de los días se registran incendios forestales (5.294 días). Así mismo, la potencia de los sistemas de prevención, detección y extinción de incendios forestales de cada Comunidad contribuye a reducir el desarrollo de grandes incendios. La Comunidad Valenciana, por ejemplo, destaca por su organización y métodos empleados para controlar el origen de los incendios para que no lleguen a ser grandes incendios (hecho que le permitió ganar el premio “Bate fuego de Oro” del año 2002).

De acuerdo con los resultados hallados se puede afirmar que las variables “área diaria media afectada” e “índices IPIG' y FWI' ”mantienen otro tipo de relación que va más allá de una relación directa basada en una correlación de tipo lineal. La menor pendiente, la irregularidad y la ausencia de clases en las curvas del área media afectada del índice IPIG' en todas las provincias, impide visualizar la tendencia de la relación entre ambas variables y definir un modelo matemático de predicción apropiado. En el

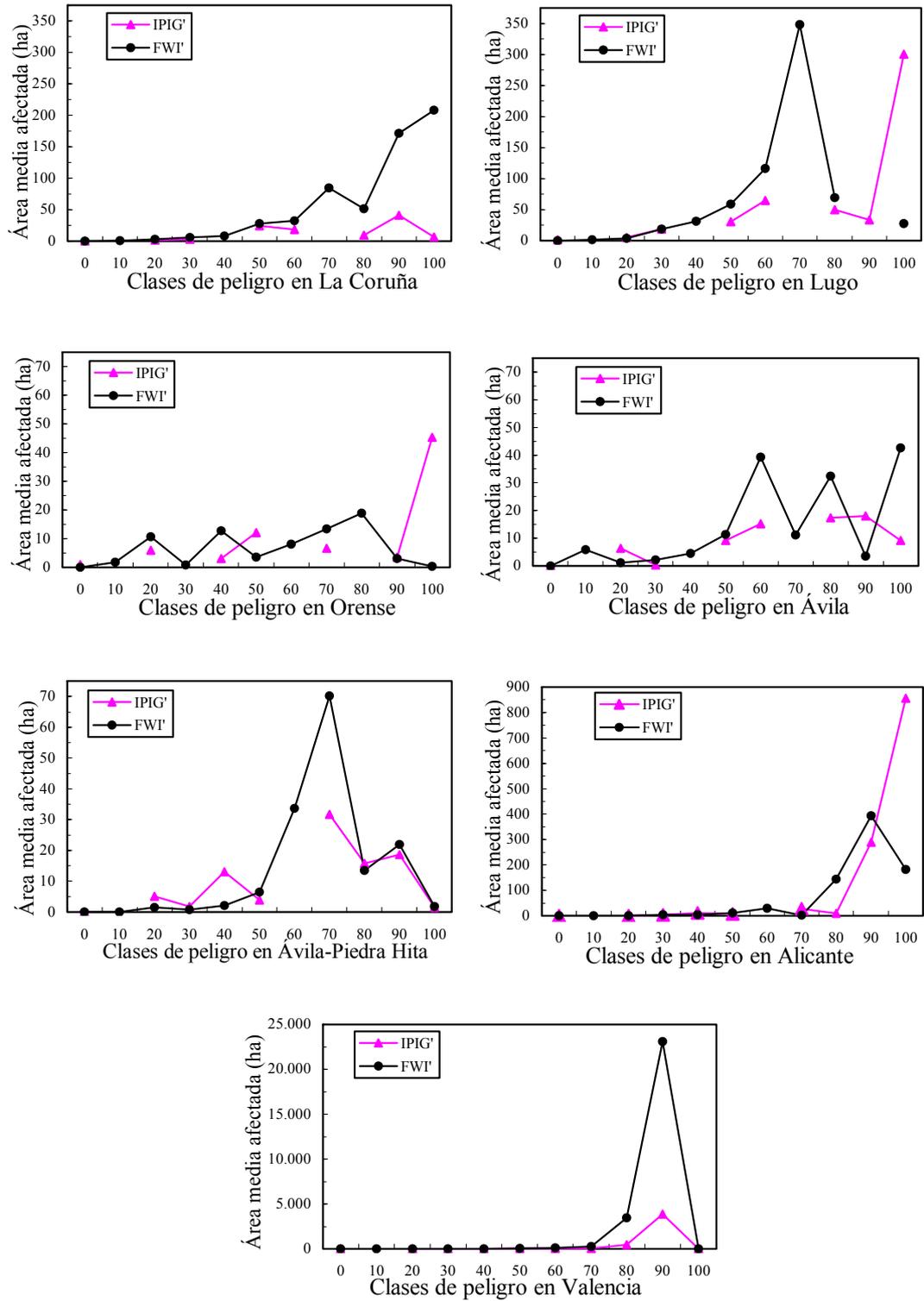


Figura 16. Área media diaria afectada por los incendios según valores del Índice de Peligro de Ignición homogeneizado IPIG' y el Índice Meteorológico de Incendios Forestales homogeneizado FWI' en el verano-otoño, en las provincias estudiadas

caso de la curva del índice FWI', pareciera tener una tendencia exponencial positiva en todas las provincias, con excepción de Orense, ya que el área media afectada crece moderadamente hasta alrededor del intervalo 40-50, donde se produce un punto de inflexión, a partir del cual muestra crecimientos exponenciales. Estudios realizados en relaciones lineales de los componentes del FWI y el área mensual quemada en Canadá (1953-1980) determinaron coeficientes de determinación bajos (R^2 de 0,3) que explicaron hasta un 30% de la variabilidad de la superficie quemada mensualmente en diversas provincias de Canadá (Flannigan y Harrington, 1988); resultados similares fueron obtenidos por Harrington et al. (1988) con otros subíndices del índice FWI, indicando una baja potencialidad de los modelos de predicción lineal.

Debido a que los índices IPIG y FWI guardan una relación de tipo polinomial con el área diaria afectada en la mayoría de las provincias (Manta et al. 2003), que los modelos de predicción aportan principalmente evidencias teórico matemáticas y en cambio tan sólo tienen una reducida aplicación práctica en la gestión de los incendios forestales, se ha ideado un método para evaluar la bondad de los índices IPIG y FWI como indicadores del área que se puede ver afectada por los incendios. Este método considera los días en que los índices IPIG' y FWI' alcanzan valores extremos (frecuencias relativas acumuladas de los días de mayor peligro, intervalo 80-100), y lo compara con las frecuencias relativas acumuladas del área total afectada en los días de mayor peligro.

En la Tabla 38 se muestran los resultados que permiten evaluar la bondad de los índices IPIG' y FWI' para clasificar la superficie total afectada en los días de peligro extremo en la primavera y el verano-otoño, según las provincias estudiadas. Algunos estudios de la eficacia y operatividad de los índices meteorológicos para determinar la ocurrencia de incendios forestales (Viegas et al., 1999 y Viegas et al., 2002) determinaron que 5% de los días en la categoría de peligro extrema (intervalo 80-100) resulta en términos relativos, apropiado para clasificar la ocurrencia de los incendios forestales sin dar lugar a falsas alarmas. De acuerdo a ello, en la primavera el índice IPIG' supera éste 5% en las provincias de Orense, Ávila, Ávila-Piedra Hita, Alicante y Valencia, representando el 11,37%, 7,34%, 10,37%, 5,75% y 6,46% de días en la categoría de peligro extrema respectivamente; el hecho de que Valencia presente el 6,46% de los días en la categoría de peligro extrema y clasifique únicamente el 0,75% de la superficie afectada daría lugar a abundantes falsas alarmas. Mientras tanto, el

Tabla 38. Bondad de los índices homogeneizados IPIG' y FWI' para clasificar la superficie afectada acumulada en los días de peligro extremo acumulado, según la época de primavera y verano-otoño en las provincias estudiadas

Provincias	Porcentaje de días observados				En 1% de los días			
	Índice IPIG'		Índice FWI'		Índice IPIG'		Índice FWI'	
	Intervalo 80-100	Área afecta (%)	Intervalo 80-100	Área afecta (%)	Intervalo 80-100	Área afecta (%)	Intervalo 80-100	Área afecta (%)
Primavera								
La Coruña	0,93	7,290	1,11	13,830	1,00	7,84	1,00	12,46
Lugo	1,67	12,540	0,75	6,430	1,00	7,51	1,00	8,57
Orense	11,37	18,870	3,17	9,800	1,00	1,66	1,00	3,09
Ávila	7,34	43,130	0,61	0,400	1,00	5,88	1,00	0,66
Ávila-P.Hita	10,37	52,070	0,29	0,070	1,00	5,02	1,00	0,24
Alicante	5,75	46,050	0,22	0,910	1,00	8,01	1,00	4,14
Valencia	6,46	0,750	0,44	0,050	1,00	0,12	1,00	0,11
Promedio	6,27	25,814	0,94	4,499	1,00	5,15	1,00	4,18
Verano-otoño								
La Coruña	1,85	4,660	4,18	1,530	1,00	2,52	1,00	0,37
Lugo	0,85	4,170	1,92	2,230	1,00	4,91	1,00	1,16
Orense	8,02	18,840	1,38	19,820	1,00	2,35	1,00	14,36
Ávila	16,69	22,390	0,15	0,260	1,00	1,34	1,00	1,73
Ávila-P.Hita	5,25	6,740	0,75	0,880	1,00	1,28	1,00	1,17
Alicante	0,97	28,630	0,77	24,220	1,00	29,52	1,00	31,45
Valencia	1,25	49,712	0,29	49,683	1,00	39,77	1,00	171,32
Promedio	4,98	19,306	1,35	14,089	1,00	11,67	1,00	31,65

índice FWI' tiene menos del 3,3% de los días de peligro extremo en todas las provincias estudiadas y aún así ello supone el 13,83%, 6,43%, 9,80% de la superficie afectada en las provincias de La Coruña, Lugo y Orense respectivamente.

En el verano-otoño, los días de peligro extremo del índice IPIG' han disminuido a menos del 5% en todas las provincias estudiadas, a excepción de Orense y Ávila. Su comportamiento es muy bueno en las provincias de Alicante y Valencia donde con alrededor del 1% de los días de peligro extremo representa el 28,63% y 49,71% respectivamente del área afectada en dichas provincias. En el caso del índice FWI', los días en la clase de peligro extrema han aumentado en las provincias de La Coruña, Lugo, Ávila-Piedra Hita y Alicante sin sobrepasar el 4,3%; en tanto en las provincias de Orense, Ávila y Valencia los porcentajes han disminuido y representan sorprendentemente el 19,82% y 49,68% del área afectada en dichas provincias. El descenso de los días en la clase de peligro extrema en el verano-otoño en la provincia de Ávila podría ser explicado porque la estación meteorológica de Ávila tiene la máxima altitud (1.130msnm). En promedio, las clases de peligro extremas del índice FWI' en el verano-otoño clasifican en más de tres veces (14,08%) el área afectada en primavera (4,49%); el comportamiento de las clases extremas del FWI' en las provincias de Alicante y Valencia es espectacular ya que con menos del 0,8% de los días de peligro

extremo clasifica cerca de la cuarta parte (24,22%) y de la mitad (49,68%) del área total afectada en cada provincia respectivamente.

En la Figura 17 (Anexos 19 y 20) muestran las curvas que permiten evaluar visualmente la bondad de los índices IPIG' y FWI' para clasificar la superficie total afectada en los días de peligro extremo en la primavera y el verano-otoño, según las provincias estudiadas. Se observa que el índice FWI' presenta la mayor pendiente en los polígonos de frecuencias relativas acumuladas en la primavera y el verano-otoño. Así mismo, en la Tabla 38 se muestra la superficie total afectada con el 1% de los días de peligro extremo (80-100) en cada provincia. Se observa que el índice FWI' es muy bueno para indicar la propagación media de los incendios forestales en el verano-otoño y bueno en la primavera. Es importante destacar que en algunas provincias (Mediterráneas principalmente) cuando el índice FWI' alcanza valores extremos se producen grandes incendios forestales (≥ 500 ha); debido a esta propiedad se podría dar alertas de grandes incendios según la provincia de que se trate. Por otro lado, la bondad del índice IPIG' para clasificar el área afectada en la primavera es aceptable en la mayoría de provincias, aunque no es adecuada en la provincia de Valencia; no obstante la bondad mejora en el verano-otoño, pero lo hace con menor eficacia que en el caso del índice FWI'.

El comportamiento variable de las clases de peligro extremas de los índices IPIG' y FWI' en la primavera puede ser explicada por los cambios meteorológicos y por la inestabilidad atmosférica propia de esta época, factores que influyen en el contenido de humedad de la vegetación, y por lo tanto, dejan sentir su efecto en el número de incendios y en la propagación. Mientras, el mejor comportamiento de los días de peligro extremo de los índices IPIG' y FWI' para clasificar el área afectada en el verano-otoño puede ser explicada por el bajo contenido de humedad de los combustibles en el verano, asociado a la mayor estabilidad meteorológica de esta época, que se caracteriza por altas temperaturas y baja precipitación, especialmente en las provincias mediterráneas.

Finalmente, de acuerdo a las frecuencias relativas acumuladas de los días de peligro extremo de los índices, se perciben las evidencias de que un índice meteorológico cualquiera debería ser calibrado de acuerdo al área afectada en estos días,

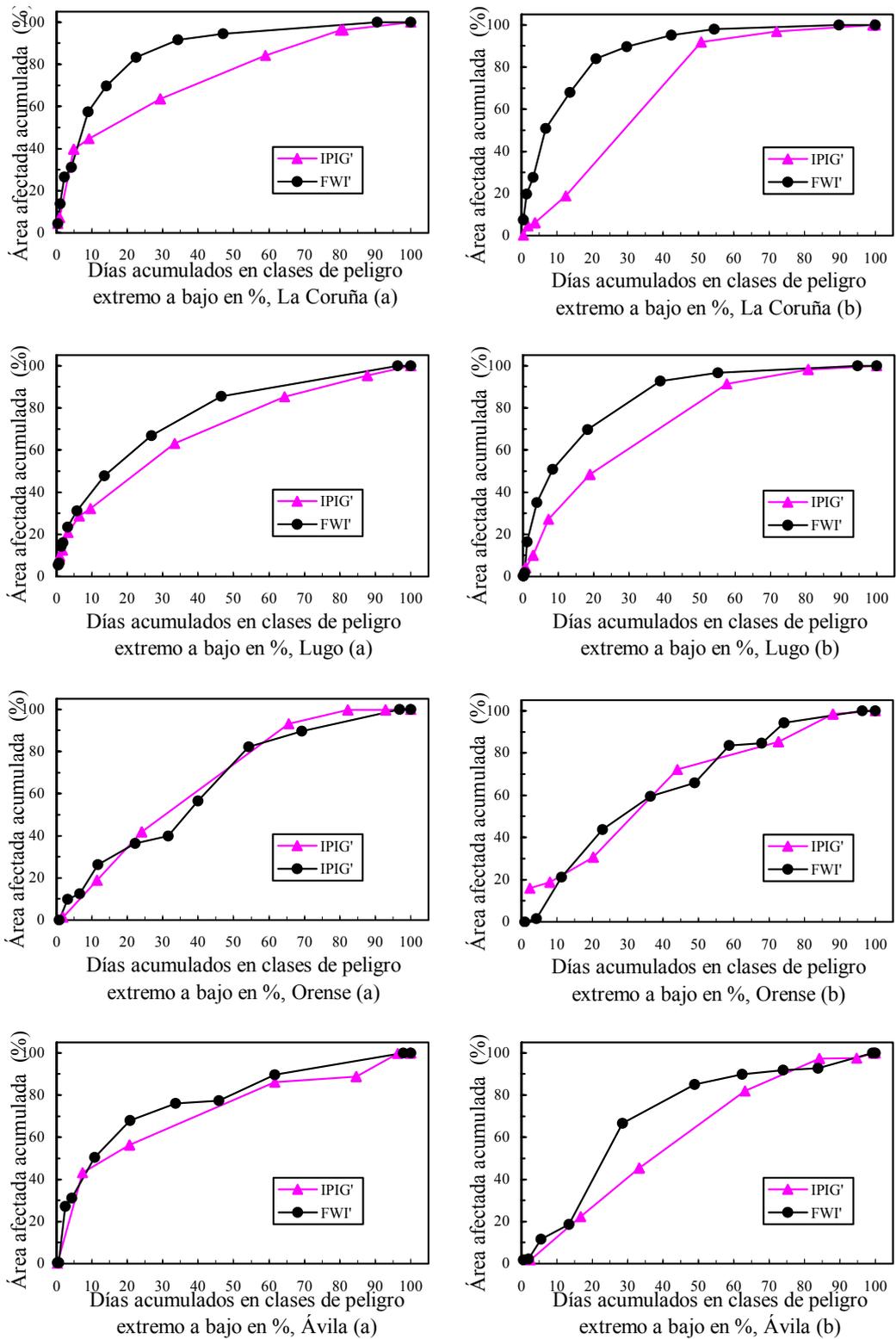


Figura 17. Área afectada acumulada en los días de mayor peligro de los índices homogeneizados IPIG' y FWI' en la primavera (a) y en el verano-otoño (b), según provincias estudiadas

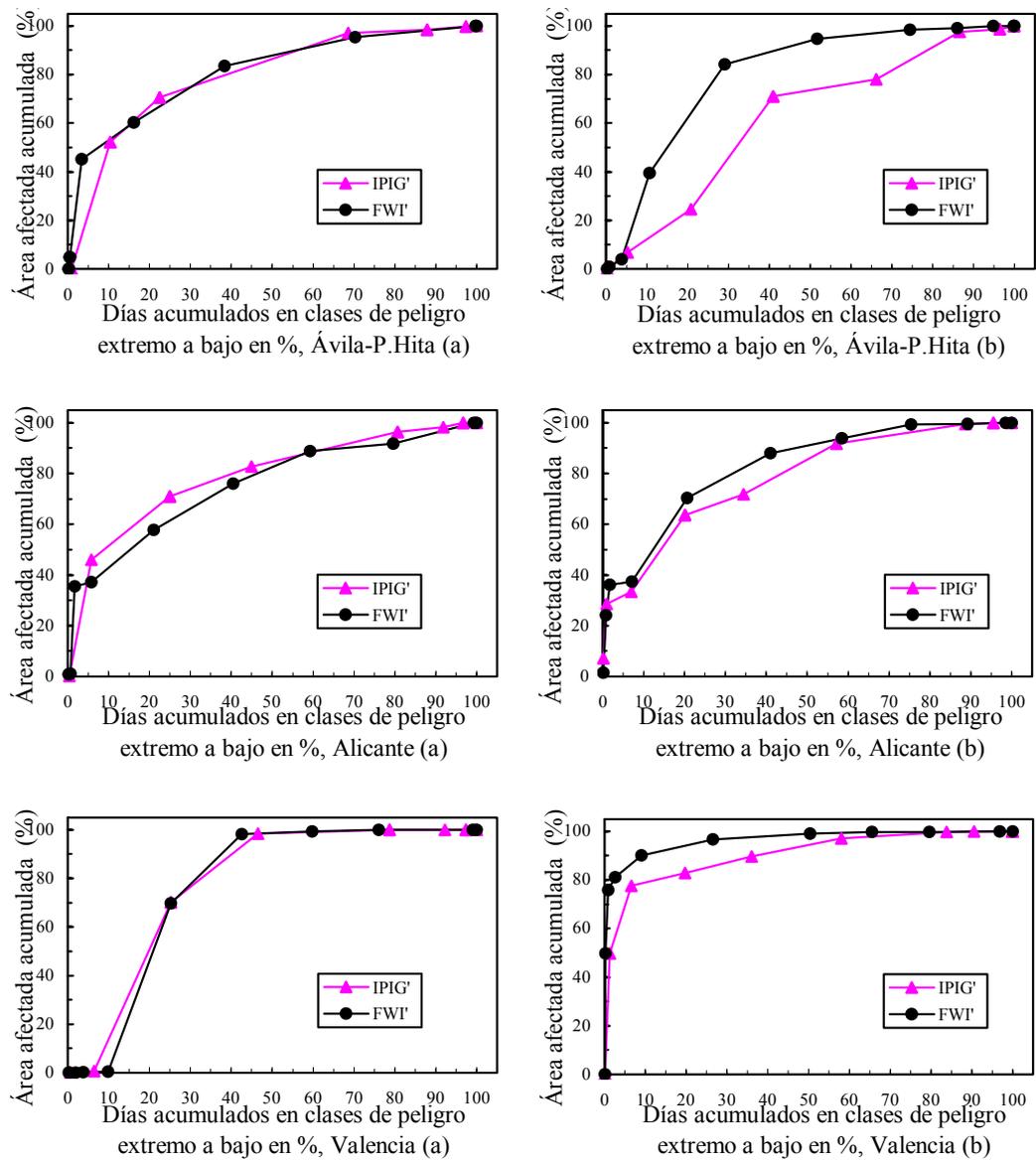


Figura 17. Área afectada acumulada en los días de mayor peligro de los índices homogeneizados IPIG' y FWI' en la primavera (a) y en el verano-otoño (b), según provincias estudiadas (Continuación)

y no solamente de acuerdo a las zonas climáticas, épocas del año y altitud de las zonas estudiadas.

6.2.3.5 Grado de asociación entre los valores de los índices IPIG y FWI y la ocurrencia de incendios forestales

La Figura 18 y 19 indican la relación visual entre los pares de las variables “valor diario del índice IPIG y el número de incendios diarios”, “valor diario del índice FWI y el número de incendios diarios”, “valor diario del índice IPIG y área diaria afectada” y “valor diario del índice FWI y área diaria afectada”, para los días de primavera, verano y otoño juntos, en cada provincia estudiada. En la parte superior de cada uno de los rectángulos la abscisa representa la variable número de incendios diarios o área diaria afectada en escala abierta, y la ordenada la variable IPIG o FWI en una escala de 0 a 100; mientras que en la parte inferior de cada uno de los rectángulos, la abscisa representa a la variable IPIG o FWI y la ordenada representa la variable número de incendios diarios o área diaria afectada. Las figuras de éstas variables separadas por estaciones, esto es, los días de primavera separados de los días de verano-otoño, siguen igual comportamiento que el del total de días estudiados, por ello se omite su presentación.

En las Tablas 39 y 40 se presentan los resultados del coeficiente de correlación de rangos de Spearman, para los pares de valores de las variables mencionadas anteriormente en la primavera, el verano-otoño, y el total de días estudiados; en todos los casos el valor del coeficiente obtenido es significativo a un nivel de confianza del 95%. El menor coeficiente de correlación medio se produce con el índice “IPIG”, en la primavera, el verano-otoño, y en todo el periodo de estudio. Sin embargo, las provincias de La Coruña y Lugo muestran una mayor correlación entre el índice IPIG y el número de incendios diarios, tanto en la primavera como en el verano-otoño. Por otro lado, la variable “FWI” muestra la mayor correlación media con el “número de incendios diarios”, en la primavera, en el verano-otoño, y en todo el periodo de estudio. Nuevamente las provincias de La Coruña y Lugo acusan la mayor correlación entre la variable “FWI” y el número de incendios diarios. En general, la correlación es mayor en el verano-otoño que en la primavera con cualquiera de los métodos en todas las provincias estudiadas.

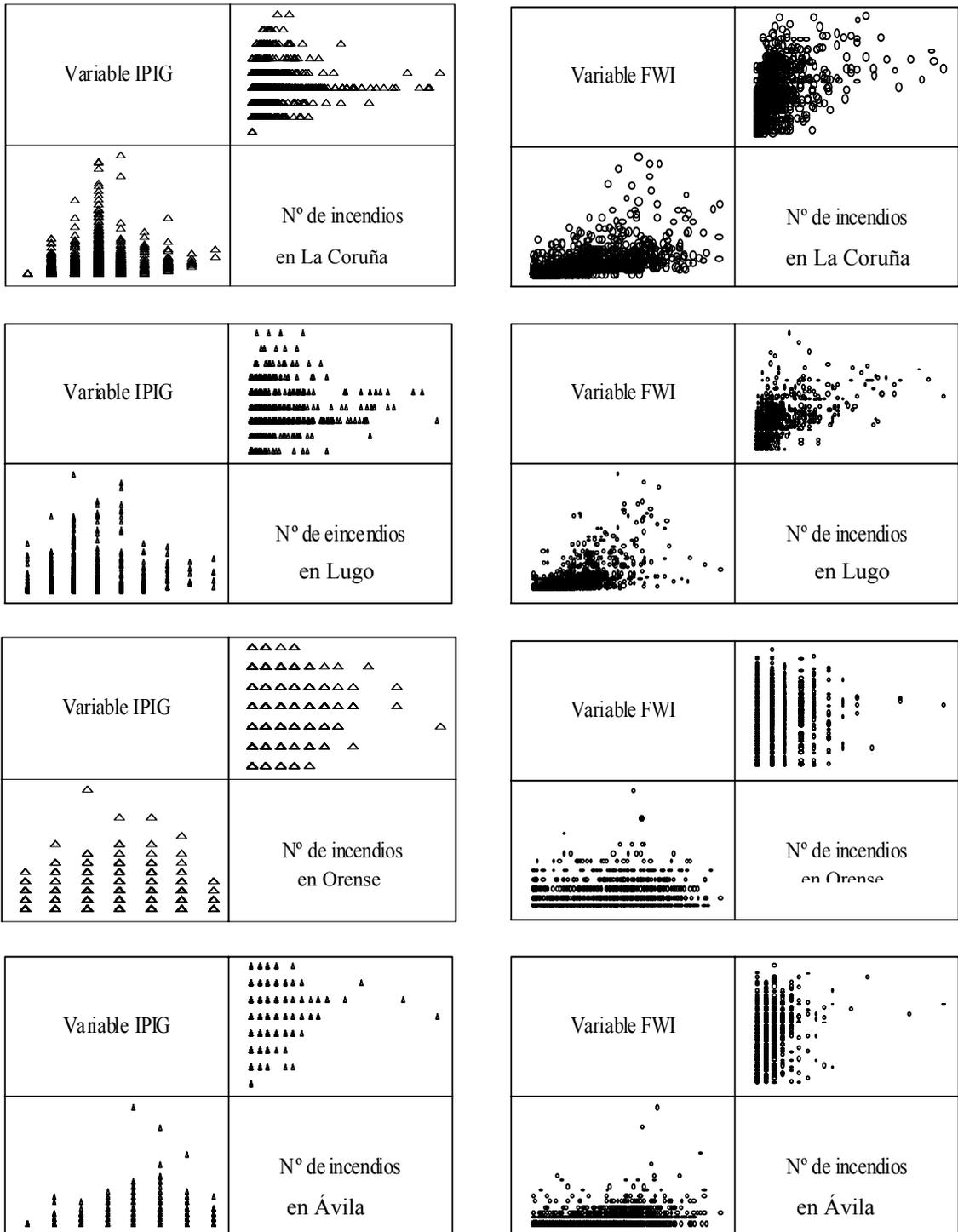


Figura 18. Diagrama de la relación entre las variables “valores diarios del índice IPIG y el número de incendios diarios” y “valores diarios del índice FWI y el número de incendios diarios”, según provincias estudiadas

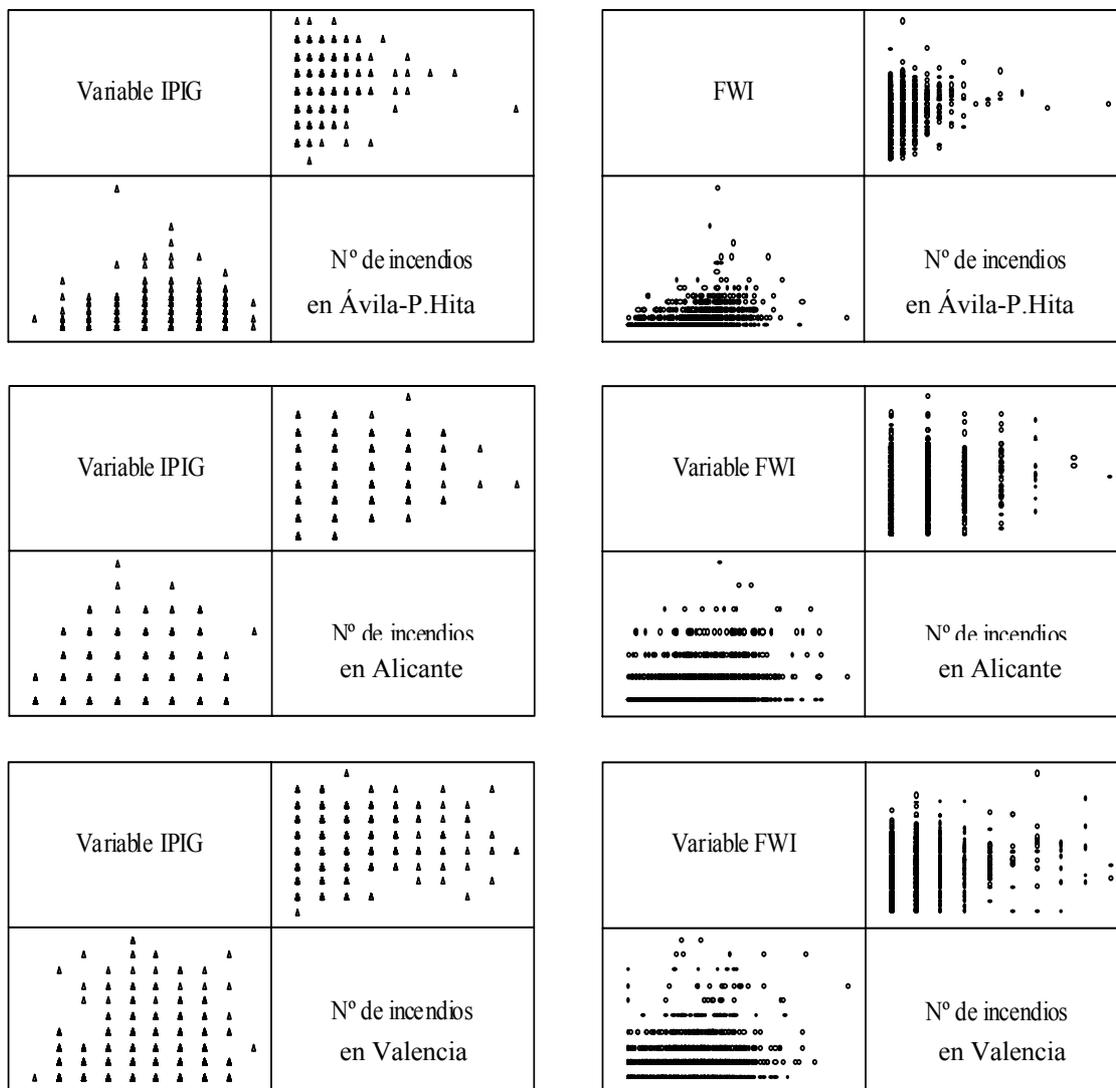


Figura 18. Diagrama de la relación entre las variables “valores diarios del índice IPIG y el número de incendios diarios” y “valores diarios del índice FWI y el número de incendios diarios”, según provincias estudiadas (Continuación)

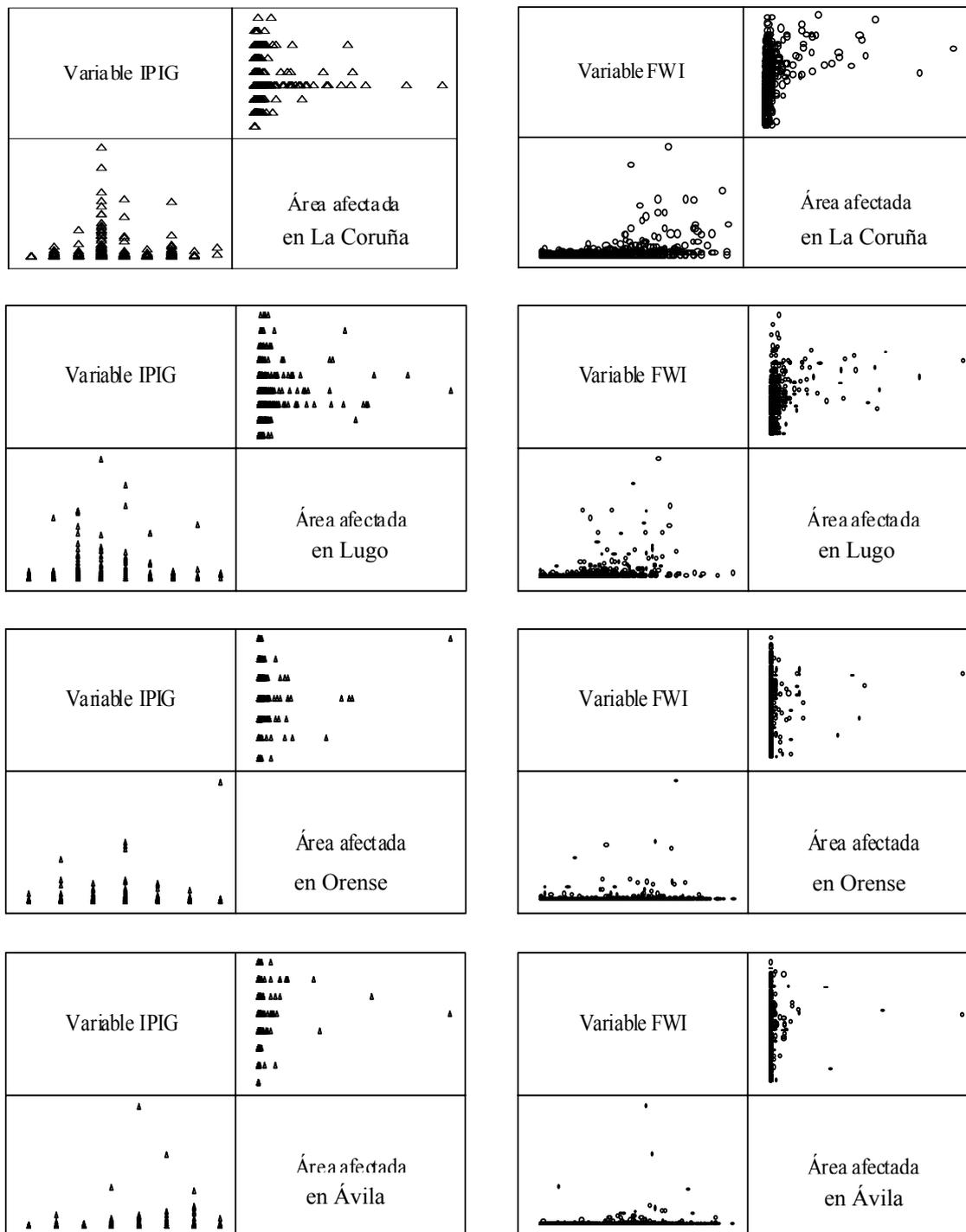


Figura 19. Diagrama de la relación entre las variables “valores diarios del índice IPIG y el área diaria afectada” y “valores diarios del índice FWI y el área diaria afectada”, según provincias estudiadas

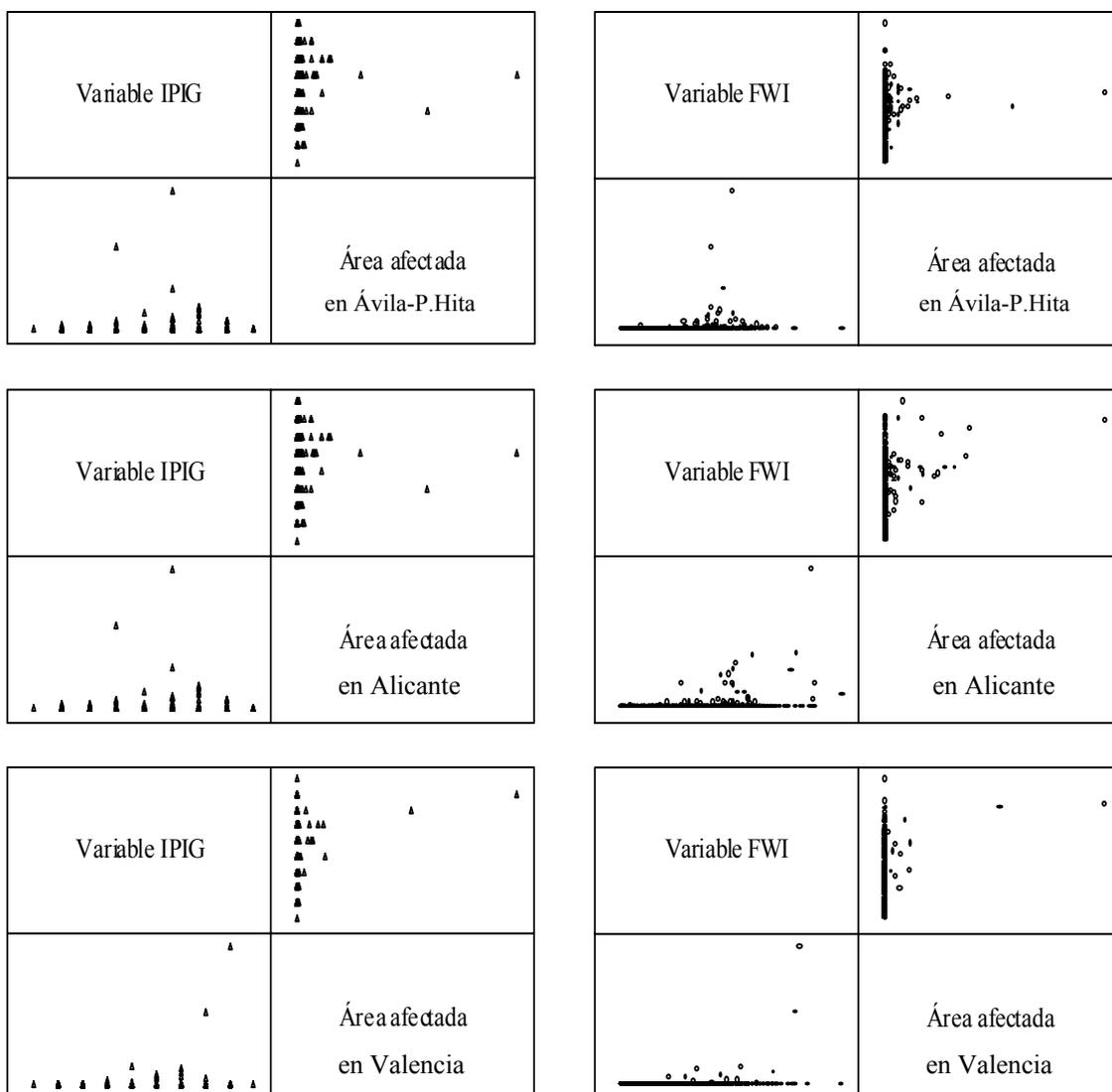


Figura 19. Diagrama de la relación entre las variables “valores diarios del índice IPIG y el área diaria afectada” y “valores diarios del índice FWI y el área diaria afectada”, según provincias estudiadas (Continuación)

Cuando se analiza la correlación entre las variables “IPIG y el área diaria afectada por los incendios forestales”, se observa un comportamiento similar al encontrado con la variable “número de incendios”. Así el índice “IPIG” tiene el menor

grado de asociación media con la variable “área diaria afectada”, en la primavera, en el verano-otoño, y en todo el periodo de estudio en las seis provincias estudiadas. El valor del coeficiente obtenido es significativo a un nivel de confianza del 95%. Mientras, el índice FWI presenta una mayor correlación media con el área afectada en la primavera, en el verano-otoño y en todo el periodo de estudio, en las provincias estudiadas. Nuevamente la correlación del índice FWI es mayor en el verano-otoño que en la primavera, particularmente en las provincias de La Coruña y Lugo; a su vez, la correlación es menor en la provincia de Orense. En la primavera la correlación entre el índice FWI y el área afectada es significativamente menor en Ávila, Ávila-Piedra Hita, Alicante y Valencia,.

Tabla 39. Valores del coeficiente de correlación de rangos de Spearman entre los índices "IPIG y FWI" y el "número de incendios diarios" según provincias estudiadas

Provincias	Coeficiente de correlación de rangos de Spearman						Observaciones diarias		
	El IPIG y el N° de incendios diarios			El FWI y el N° de incendios diarios			Prima- vera	Verano y otoño	Total
	Primavera	Verano-otoño	Total	Primavera	Verano-otoño	Total			
La Coruña	0,559	0,563	0,515	0,774	0,817	0,809	540	1.300	1.840
Lugo	0,432	0,559	0,478	0,704	0,801	0,784	540	1.300	1.840
Orense	0,300	0,260	0,231	0,293	0,298	0,341	378	910	1.288
Ávila	0,205	0,296	0,291	0,239	0,442	0,496	490	1.300	1.790
Ávila-P.Hita	0,109	0,312	0,294	0,169	0,398	0,452	347	933	1.280
Alicante	0,152	0,225	0,183	0,128	0,301	0,272	452	1.040	1.492
Valencia	0,355	0,273	0,280	0,346	0,345	0,347	465	1.040	1.505
Media	0,302	0,356	0,325	0,379	0,486	0,500	459	1.118	1.576

Tabla 40. Valores del coeficiente de correlación de rangos de Spearman entre los índices "IPIG y FWI" y el "área diaria afectada" según provincias estudiadas

Provincias	Coeficiente de correlación de rangos de Spearman						Observaciones diarias		
	El IPIG y el área diaria afectada			El FWI y el área diaria afectada			Prima- vera	Verano y otoño	Total
	Primavera	Verano-otoño	Total	Primavera	Verano-otoño	Total			
La Coruña	0,551	0,556	0,524	0,774	0,812	0,806	540	1.300	1.840
Lugo	0,410	0,527	0,460	0,682	0,772	0,755	540	1.300	1.840
Orense	0,302	0,271	0,237	0,295	0,297	0,342	378	910	1.288
Ávila	0,210	0,288	0,289	0,243	0,446	0,501	490	1.300	1.790
Ávila-P.Hita	0,117	0,327	0,308	0,173	0,427	0,471	347	933	1.280
Alicante	0,159	0,242	0,197	0,135	0,306	0,278	452	1.040	1.492
Valencia	0,349	0,282	0,285	0,335	0,367	0,358	465	1.040	1.505
Media	0,300	0,356	0,329	0,377	0,489	0,502	459	1.118	1.576

Se pone en evidencia que, cuando el total de observaciones de los índices IPIG y FWI se separan en días de primavera y días de verano-otoño, la asociación con el número de incendios y el área diaria afectada mejora en ambas épocas y se acerca a uno especialmente en las provincias de La Coruña y Lugo con ambos métodos.

De acuerdo a los rangos del coeficiente de correlación de Spearman se puede afirmar que ambos índices muestran una asociación media de 0,5 con la ocurrencia de incendios forestales; aunque el índice FWI presenta el mayor nivel de correlación, que se manifiesta en las provincias de La Coruña y Lugo, principalmente. El hecho de que la correlación entre los índices meteorológicos y la ocurrencia de incendios forestales no supere el 0,5 en promedio, puede ser explicado por la asociación de los incendios forestales con otros factores diferentes de las condiciones meteorológicas. Entre estos factores se encuentran: el humano, y el jurídico-administrativo. De estos factores destaca el origen humano de los incendios, analizado detalladamente en el capítulo 6.2.2.3 (estadísticas características de la ocurrencia de incendios forestales); y el factor jurídico-administrativo se refiere a la legislación en materia de prevención y potencial de control y extinción de los incendios forestales. Así mismo, es importante destacar la alta frecuencia de los valores “cero” de las variables número de incendios y área diaria afectada (5.678 días sin incendios), lo cual conduce a la disminución de la correlación entre la ocurrencia de incendios forestales diarios y los valores diarios de las variables IPIG y FWI.

6.2.3.6 Análisis de la varianza de los índices IPIG y FWI clasificados según niveles del número de incendios diarios y del área diaria afectada

En las Tablas 41, 42 y 43 se presentan los resultados del contraste según el test de Kruskal Wallis de la hipótesis nula (H_0) que considera que las medianas de los índices IPIG y FWI clasificados según tres niveles del “número de incendios diarios”, en la primavera, en el verano-otoño y en el total de días estudiados, son iguales. En la primavera y el verano-otoño, el contraste con el índice IPIG muestra valores inferiores al nivel de significación previamente fijado ($\alpha = 0,05$) en todas las provincias estudiadas a excepción de Ávila-Piedra Hita en la primavera (0,10), por lo tanto, se rechaza la H_0 y se acepta la evidencia estadística de que las medianas de los índices IPIG clasificados según tres niveles del “número de incendios diarios” son diferentes a un nivel de confianza del 95%. Por otra parte, el contraste con el índice FWI indica que existe

diferencia estadística entre de las medianas clasificadas según los mismos niveles del “número de incendios diarios” que para el IPIG, a un nivel de confianza del 95%, en la primavera, el verano-otoño, y en todas las provincias estudiadas. De acuerdo con estos resultados, se puede afirmar que la diferencia entre las tres subpoblaciones de los índices IPIG y FWI, clasificados según tres niveles del número de incendios diarios obedece a una genuina diferencia y no representa una variación casual, en las épocas y provincias estudiadas, a excepción de Ávila-P.Hita en la primavera, con el índice IPIG.

En las Tablas 44, 45 y 46 se presentan los resultados del contraste de la H_0 de igualdad de las medianas de los valores de los índices IPIG y FWI clasificados según cuatro niveles del “área diaria afectada”. Dado que los contrastes con los índices IPIG y FWI, muestran valores inferiores al nivel de significación previamente fijado ($\alpha = 0,05$) en todas las provincias estudiadas, en la primavera y el verano-otoño, se puede rechazar la H_0 y aceptar la evidencia estadística de que las medianas de los índices IPIG y FWI clasificados según cuatro niveles del “área diaria afectada” son distintos 2 a 2 a un nivel de confianza del 95%. Así la diferencia entre las cuatro subpoblaciones de los índices IPIG y FWI, esta vez clasificados según cuatro niveles del área diaria afectada, obedece también a una genuina diferencia y no representa una variación casual, en las épocas y provincias estudiadas.

7 CONCLUSIONES

Con base en datos históricos de entre 6 y 10 años se aplicó un método original para evaluar la bondad de dos índices de peligro meteorológico de incendios forestales en 6 provincias de 3 zonas climáticas de la España peninsular para el periodo de primavera y de verano-otoño, que ha permitido llegar a las siguientes conclusiones:

- 7.1 Como consecuencia del análisis de la estructura de los índices se concluye que ambos métodos se fundamentan en la humedad del combustible fino muerto, cuyo estado de humedad determina en gran medida el inicio de los incendios forestales. La existencia de tres componentes que miden la humedad del combustible muerto en la estructura del índice FWI, le permite medir con más eficacia el inicio de los incendios en la zona Atlántica, Continental y Mediterránea de España peninsular.
- 7.2 Respecto a la influencia de los elementos meteorológicos en la estructura de los índices, la temperatura y la humedad relativa determinan en gran medida el valor diario del índice IPIF. Mientras en el caso del FWI, la precipitación y su efecto acumulado ejerce la mayor influencia sobre el contenido de humedad del combustible muerto y es el punto de partida para un conjunto de ecuaciones físicas que determina el comportamiento de este índice.
- 7.3 La estructura del índice IPIF indica que éste es un índice de ignición principalmente ya que no considera el comportamiento del fuego, mientras el índice FWI cuenta con componentes que miden la probabilidad de ignición, la velocidad de propagación, la carga del combustible disponible y la intensidad de un incendio en terreno llano. Estas diferencias determinan en gran medida la capacidad de medir una o más facetas de los incendios forestales.
- 7.4 El análisis estadístico descriptivo llevado a cabo sobre la muestra disponible, indica que el índice FWI evalúa la meteorología de incendios de mejor manera que el índice IPIG en las seis provincias estudiadas. Por ello, la teoría empírica-teórica subyacente en el cálculo del FWI puede ser utilizada con todas sus potencialidades en una parte del año en las distintas zonas de la España peninsular, aún en aquellas zonas donde las lluvias, aunque débiles, son frecuentes en una parte del año, como los climas mediterráneos.

- 7.5 La variación de las frecuencias encontrada en la población de valores del índice FWI indican los cambios estacionales (primavera y verano-otoño) y espaciales (seis provincias) razonablemente. Mientras las frecuencias en el índice IPIG sufre poca variación, y presenta altas frecuencia en las categorías de peligro moderada y alta (intervalo 20-60) en la primavera y el verano-otoño en las seis provincias estudiadas. La versatilidad de valores que alcanza el índice FWI muestra la posibilidad de su aplicación en las provincias estudiadas y su uso como elemento operativo de toma de decisiones en la gestión de los incendios forestales.
- 7.6 Se ha determinado que la clasificación de los días con incendios es realizada parcialmente por ambos índices, porque son meteorológicos y no toman en cuenta de forma directa al factor humano, de fuerte influencia en el origen de los incendios forestales. El estudio de la asociación entre los valores diarios de ambos índices y el número de incendios diarios confirma la conclusión ya que ambos índices muestran un valor del coeficiente de asociación de en torno a 0,5; para ambos métodos el grado de asociación ,es mejor en el verano-otoño que en la primavera. Así mismo, el grado de asociación del FWI es mayor, cuando se le compara con el índice IPIG.
- 7.7 Se ha demostrado que los valores medios de los índices IPIG y FWI están relacionados linealmente con el número medio de incendios diarios en los días incluidos en cada clase de peligro en el conjunto de provincias en la primavera y el verano-otoño. Los modelos de regresión lineal construidos para el FWI permiten explicar un mayor porcentaje de la variabilidad del número medio de los incendios diarios que los modelos construidos con el IPIG, tanto en la primavera como en el verano-otoño; la predicción con el índice FWI es muy buena en el verano-otoño para el conjunto de provincias estudiadas. Así ambos índices explican el inicio de los incendios.
- 7.8 Se concluye que la relación entre las condiciones meteorológicas medias medidas a través de los índices y el número medio de incendios diarios es una relación de tipo causa-efecto y no solamente una asociación lineal entre las variables. Este resultado original, constituye un avance en el conocimiento de las variables que influyen en el fenómeno de los incendios forestales.

- 7.9 Del análisis comparativo entre los valores medios de los índices utilizados y la superficie media afectada diariamente, se deduce la existencia de una relación funcional de tipo no lineal, más evidente en el caso del índice FWI. Ello permite discriminar los días de más alto peligro, y por ello utilizar como criterio de calibración el hecho de que el valor del índice se encuentre incluido en un porcentaje prefijado de días en que los índices alcanzan los valores extremos, mediante cuantificación del porcentaje de área afectada en los citados días.
- 7.10 El índice FWI es muy bueno para indicar la propagación media de los incendios forestales en la mayoría de provincias estudiadas, ya que clasifica acertadamente el área media afectada en las categorías del comportamiento diferencial peligro; las indicaciones son muy buenas en el verano-otoño en las provincias mediterráneas, particularmente. Mientras el IPIG explica bien esta variable en las provincias de Alicante y Ávila en la primavera, y en las provincias de Lugo y La Coruña en el verano-otoño. Sin embargo, es necesario considerar que en el caso del IPIG las altas frecuencias de las clases de peligro mayores de 50 determinan este comportamiento, por lo cual esta conclusión debe ser tomada con cautela.
- 7.11 Finalmente, se ha demostrado que las subpoblaciones de valores de los índices clasificados según tres niveles del número de incendios diarios (0, 1 y >1) y cuatro niveles de área diaria afectada (igual a 0 ha, ≤ 20 ha, < 500 ha y \geq de 500 ha) obedece a una genuina diferencia entre subpoblaciones y no a una variación que puede ser fruto del azar, en las épocas y provincias estudiadas. La excepción ocurre en la localidad de Ávila-P.Hita en la primavera para la variable número diario de incendios, en el caso del índice IPIG.
- 7.12 Para finalizar este Capítulo, se incluye una última conclusión que aunque no se deriva de un objetivo específico de esta investigación, está presente en los resultados obtenidos, la metodología empleada. Esta adquiere gran potencialidad en la evaluación de cualquier índice de peligro meteorológico de incendios forestales, ya que el análisis se basa en contrastes estadísticos apropiados a las variables en estudio. Por lo tanto, las decisiones adoptadas al usar los índices estarían garantizadas estadísticamente.

6 RECOMENDACIONES

Los resultados y conclusiones conllevan a emitir las siguientes recomendaciones:

- 8.1 Dado el buen funcionamiento del índice FWI en las provincias de la zona Atlántica, Continental y Mediterránea, se recomienda su aplicación en la España peninsular. Sin embargo, se requiere una calibración previa de acuerdo con las estaciones del año, las regiones geográficas, la altitud, el régimen de incendios en las provincias y la estructura de prevención y combate de cada provincia. La calibración deberá ser periódica; un revisión cada 5 años resultaría adecuada.
- 8.2 Como el índice FWI es un buen indicador del inicio de los incendios, se recomienda su utilización en el sistema de prevención mediante su aplicación en la realización de quemas controladas, principalmente. Su aplicación en el sistema de extinción requiere la calibración del índice de propagación inicial, uno de las estructuras del comportamiento de los incendios forestales.
- 8.3 El uso de los índices meteorológicos de peligro alcanzaría mayor amplitud si se demostrara la rentabilidad económica de su uso, a través de la determinación de la eficiencia de las predicciones de los incendios forestales.
- 8.4 Se recomienda ampliar el análisis del índice FWI mediante el estudio completo del subíndice del contenido de humedad en los combustibles ligeros muertos (FFMC), el subíndice contenido de humedad en la hojarasca (DMC), el subíndice de sequía (DC), el subíndice de propagación inicial (ISI) y el subíndice de combustible disponible (BUI). El subíndice DC y el ISI puede ser contrastado y complementado con los índices de aridez y de humedad del suelo que maneja el Instituto Nacional de Meteorología.
- 8.5 Se recomienda el mantenimiento de las bases de datos meteorológicas y de incendios forestales, insumos necesarios para el estudio de los grandes incendios; así como facilitar, mejorar y acelerar la accesibilidad a dichas bases de datos.

6 BIBLIOGRAFIA

- Aguado, I.; Camia, A. 1998.** Fundamentos y utilización de índices meteorológicos de peligro de incendio. Universidad Alcalá de Henares. Serie Geográfica (España) nº7. 156 p.
- Aguado, I.; Chuvieco, E.; Salas, J. 2001.** Assessment of forest fire danger conditions in Andalucía from remote sensing images (NOAA) and meteorological indexes. In 3rd. International Workshop on Remote Sensing and GIS applications to Forest Fire Management: New methods and sensors. Editado por Emilio Chuvieco y Pilar Martín. Paris, Francia. European Association of laboratories. p. 45-48.
- Alexander, M. 1994.** Proposed revision of fire danger class criteria for forest and rural areas in New Zealand. National Rural Fire Authority, Wellington, New Zealand. Circular 1994/2. 73 p.
- Alexander, M. 2002.** Crown fires in conifer forests. In Short course on forest fire behaviour. . ADAI. Luso, Portugal. p. 1-13.
- Almeida, M.; Mata Reis, R. 2000.** Previsão da tendência do índice meteorológico de perigo de incendio (sistema canadiano). Utilización de un modelo atmosférico de mesoescala. Lisboa, Portugal. Ministerio da Ciência e da Tecnologia/Instituto Meteorología. 25 p.
- Almeida, M.; Mata Reis, R. 2000.** Previsão da tendência do índice meteorológico de perigo de incendio (sistema canadiano). Utilización de un modelo atmosférico de mesoescala. Lisboa, Portugal. Ministerio da Ciência e da Tecnologia/ Instituto Meteorología. 25 p.
- Álvarez, L.; de la Fuente, C.; García, M. 2001.** Índice de riesgo de incendios forestales para Aragón. V simposio Nacional de Predicción. Sección C.: Técnicas y herramientas de análisis, diagnosis, y predicción. Madrid, España. En: http://www.inm.es/La_ciencia_meteorológica/Divulgación. [Consulta: 2 de septiembre de 2002].
- Baeza, M. 2001,** Aspectos ecológicos y técnicas de control del combustible (roza y quema controlada) en matorrales con alto riesgo de incendios dominados por *Ulex parviflorus* (Pourr.). Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias, Universidad de Alicante. Alicante, España. 236 p.
- Baisan, C.; Swetnam, T. 1990.** Fire history on a desert mountain range: Rincon wilderness, Arizona, USA. Canadian Journal of Forest Research (Canada) 20:1559-1569.
- Barros, I. 2001.** Evolução do tempo y previção do tempo. In Curso de Meteorologia aplicada aos incêndios florestais. Centro de Estudos sobre Incêndios Florestais. Coimbra, Portugal. ADAI. s/p.

- Barros, I. ; Mata Reis, R. 2001.** Situações sinópticas características do verão. *In* Curso de Meteorologia aplicada aos incêndios florestais. Centro de Estudos sobre Incêndios Florestais. Coimbra, Portugal. ADAI. s/p.
- Barton, A. 1993.** Factors controlling plant distributions: drought, competition, and fire in montane pines in Arizona. *Ecological Monographs (EE.UU.)* 63(4):367-397.
- Blanco, A. 2003.** Los suelos de España. Madrid, España. ETSI Montes, UPM. (Correspondencia personal: 10 de mayo).
- Borrego, F. 2000.** Informe técnico sobre la utilización de los índices de peligro. Dirección General de Protección Ciudadana. Madrid, España. 4 p.
- Bovio, G.; Camia, A. 1998.** An analysis of large forest fires danger conditions in Europe. *In* III International Conference on Forest Fire Research. 14ª. Conference on Fire and Forest Meteorology: Editado por D. Viegas. Luso; Coimbra, Portugal. ADAI. p. 975-994.
- Brenner, J. 1991.** Southern oscillation anomalies and their relationship to wildfire activity in florida. *International Journal of Wildland Fire (Australia)* 1:73-78.
- Burgan, R. 1987.** A comparison of procedures to estimate fine dead fuel moisture for fire behaviour predictions. *South Africa Forestry Journal (S. Africa)* 142:34-40.
- Burgan, R. 1988.** 1988 revision to the 1978 National Fire Danger Rating System. United States Department of agriculture, Forest Service. Research Paper SE-273. Southeastern forest Experiment Station, Asheville, North Carolina, EE. UU. 39 p.
- Burgan, R.; Klaver, R.; Klaver, J. 2002.** Fuel models and fire potential from satellite and surface observations. Unites State Department of agriculture, Forest Service. En: <http://www.fs.fed.us/land/wfas/firepot/fpipap.htm>. [Consulta: 18 de setiembre de 2002].
- Byram, G. 1959.** Combustion on forest fuels and forest fire behaviour. *In* Forest Fire control. Ed. by P. Davis. New, York, EE.UU. McGraw Hill.
- Caballero, D. 2001.** Los sistemas de información en la cadena de toma de decisiones para la lucha contra incendios forestales: Nuevas tecnologías. *In* IX Conferencia Gestión del Medio Ambiente: Gestión de los ecosistemas forestales y de su defensa contra los incendios. Madrid, España. TECNOMA. s/p.
- Cadenas, I.; Mestre, A.; Moreno, M. 2001.** Estudio sobre la bondad del índice de riesgo de incendios forestales utilizado en la campaña nacional de apoyo a la lucha contra incendios. V simposio Nacional de Predicción. Sección D: Procedimientos operativos de predicción. nacional. Madrid, España. En: [http://www.inm.es/La ciencia meteorológica/Divulgación](http://www.inm.es/La_ciencia_meteorológica/Divulgación). [Consulta: 2 de setiembre de 2002].

- Canadian Forestry Service. 1970.** Canadian forest fire weather index. Canadian Department Fish Forest. 25 p.
- Canadian Forestry Service. 1972.** Indice Forêt-Météo: Méthode canadienne (provisoire). Institute recherche feux forêt.
- Canadian Forestry Service. 1976.** Canadian forest fire weather index tables. Forestry Technical Report 13. 63 p.
- Canadian Forestry Service. 1978.** Canadian forest fire weather index tables. Forestry Technical Report 25. 40 p.
- Canadian Forestry Service. 1984.** Tables for the Canadian forest fire weather index system. Forestry Technical Report 25 (4th ed.). 48 p.
- Cantos, T.; Rico, A. 1994.** Sequías en el Sudeste Ibérico: Hecho climático o hecho humano. Publicaciones de la Universidad Alcalá de Henares, España. Serie Geográfica v. 4. 132 p.
- Catchpole, W.; Cheney, P. 2002.** Modeling the spotting process. *In* Short course on forest fire behaviour. . ADAI. Luso, Portugal. p. 1-13.
- Centro de Estudos sobre Incêndios Florestais (CEIF). 2002.** Firestation program. Associação para o Desenvolvimento da Aerodinâmica Industrial (ADAI). s/p.
- Chadler, C.; Cheney, P.; Thomas, P.; Trabaud, L.; Williams, D. 1983.** Fire in forestry; Forest fire behaviour and effects. New York, EE.UU. John Wiley & Sons. v.1, 449 p.
- Cheney, P. 2002.** Fire behaviour and fire safety. *In* Short course on forest fire behaviour. . ADAI. Luso, Portugal. p. 1-17.
- Chrosciewicz, Z. 1986.** Foliar moisture content variations in four coniferous tree species of Central Alberta. Canadian Journal of Forest Research (Canada) 16:157-162.
- Cienciulli, P. 1981.** Incendios florestais: Prevenção e Combate. Sao Paulo, Brasil, Libreria Nobel. 169 p.
- Clark, J.; Robinson, J. 1993.** Paleoecology of fire. *In* fire in the environment. The ecological, atmospheric, and climatic importance of vegetation fires. Ed, by P. Crutzen y J. Goldammer. Chichester, England. p. 193-214
- Cocero, D.; Riaño, D.; Chuvieco, E. 1998.** Estimación de la humedad de la vegetación usando imágenes de satélite e índices meteorológicos de peligro de incendios. Publicaciones de la Universidad Alcalá de Henares, España. Serie Geográfica v. 7:59:72
- Comisión Europea. 2002.** Forest fire risk mapping. Natural Hazards Project of Space Applications Institute. Ispra, Italy. s/p.

- Comité de Lucha contra Incendios Forestales. 1997.** Libro rojo de la prevención contra incendios forestales. Madrid, España. 202 p.
- Comunidad Autónoma de Andalucía. 2000.** Plan de protección civil de emergencia por incendios forestales en Andalucía (INFOCA). <http://www.cma.junta-andalucia.es/incendios/incendios.html>. (Consulta: 2 de noviembre del 2000).
- Comunidad Autónoma de Baleares. 2001.** Plan de emergencias frente al riesgo de incendios forestales en Baleares (INFOBAL). Conselleria de medi Ambient, Direcció General de Biodiversitat. Palma de Mallorca, España. 180 p.
- Cope, M.; Chaloner, W. 1980.** Fossil charcoal as evidence of past atmospheric composition. *Nature* 283:647-649.
- Cruz, M. 2001.** Componentes do índice Canadiao de perigo de incêndio (FWI) e sua interpretação. . In *Curso de Meteorologia aplicada aos incêndios florestais*. Centro de Estudos sobre Incêndios Florestais. Coimbra, Portugal. ADAI. s/p.
- Decreto 163/1998. 1998.** Plan especial frente al riesgo de incendios forestales de la Comunidad Valenciana. Diario Oficial de la Generalitat Valenciana. Valencia, España. XXI(3400):20428-20569.
- Decreto 21/1989, de 6 de abril. 1989.** Por el que se modifican los artículos 17, 43 y 45 del Reglamento de la Ley sobre protección y fomento de las especies forestales autóctonas. España. Diputación Regional de Cantabria. Boletín Oficial de Cantabria.
- Decreto 226/1995. 2000.** Plan especial de protección civil de emergencias por incendios forestales (PROCINFO). Departamento de Presidencia y Relaciones Institucionales. Zaragoza, España. Boletín Oficial de Aragón. Nº 103:60 p.
- Decreto 3769/1972, de 23 de diciembre. 1973.** Por el que se aprueba el Reglamento de la Ley 81/1968, de 5 de diciembre, sobre incendios forestales. España. Presidencia. Boletín Oficial del Estado Nº 38.
- Decreto 470/1994, de 20 de diciembre. 1995.** De prevención de incendios forestales. España. Consejería de Medio Ambiente. Boletín Oficial de la Junta de Andalucía Nº 26.
- Decreto 64/1995, de 7 de marzo. 1995.** Por el que se establecen medidas de prevención de incendios forestales. Departamento de Agricultura, Ganadería y Pesca. España. Diario Oficial de la Generalitat de Cataluña Nº 2.022.
- Decreto 82/1985, de 29 de noviembre. 1985.** Por el que se aprueba el Reglamento de la Ley 6/1984, de 29 de octubre, sobre protección y fomento de las especies forestales autóctonas. España. Diputación Regional de Cantabria. Boletín Oficial de Cantabria Nº 197.
- Decreto Foral 272/1999. 2000.** Plan especial de protección civil de Emergencia por incendios forestales de la Comunidad Foral de Navarra (INFONA).

<http://www.cfnavarra.es/bon/999/99922001.htm>. (Consulta: 5 de diciembre del 2000).

- DGCN. 1995.** Los incendios forestales en España durante el año 1995. Ministerio del Medio Ambiente. Madrid, España. 92 p.
- DGCN. 1996.** Los incendios forestales en España durante el año 1996. Ministerio del Medio Ambiente. Madrid, España. Madrid, España. 89 p.
- DGCN. 1997.** Los incendios forestales en España durante el año 1997. Ministerio del Medio Ambiente. Madrid, España. Madrid, España. s.p.
- DGCN. 1998.** Los incendios forestales en España durante el año 1998. Ministerio del Medio Ambiente. Madrid, España. Madrid, España. s.p.
- DGCN. 1999.** Los incendios forestales en España durante el año 1999. Ministerio del Medio Ambiente. Madrid, España. s.p.
- DGCN. 2000.** Los incendios forestales en España durante el año 2000. Ministerio del Medio Ambiente. Madrid, España. s.p.
- DGCN. 2002.** Los incendios forestales en España: Decenio 1991-2000. Ministerio del Medio Ambiente. Madrid, España. s/p.
- DGCN. 2002a.** Tercer inventario forestal nacional 1997-2006. Galicia, A Coruña. Ministerio del Medio Ambiente. Madrid, España. 371 p.
- DGCN. 2002b.** Tercer inventario forestal nacional 1997-2006. Galicia, Lugo. Ministerio del Medio Ambiente. Madrid, España. 354 p.
- DGCN. 2002c.** Tercer inventario forestal nacional 1997-2006. Galicia, Ourense. Ministerio del Medio Ambiente. Madrid, España. 330 p.
- DGCN. 2003.** Número de conatos en las provincias de España: Decenio 1991-2000. Subdirección general de Montes, Área de Defensa contra Incendios Forestales. Madrid, España. (Correspondencia personal).
- Dimitrakoupoulos, A.; Bemmerzuk, A. 1998.** Evaluation of the Canadian Forest Fire Danger Rating System (CFFDRS) and the Ketch-Byran Index (BRDI) in the Mediterranean climate of Greece. *In* III International Conference on Forest Fire Research. 14^a. Conference on Fire and Forest Meteorology: Editado por D. Viegas. Luso; Coimbra, Portugal. ADAI. p. 995-1.009.
- Elvira, M.; Hernando, C. 1989.** Inflamabilidad y energía de las especies del sotobosque (Estudio piloto con aplicación a los incendios forestales). Editado por el Instituto nacional de Investigaciones Agrarias. Madrid, España. Colección monográfica N° 68. 99 p.

- Entrenamiento e Información Forestal (EINFOR). 2001.** Curso de técnico de brigadas helitransportadas contra incendios forestales. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes, EINFOR. Madrid, España. 26-30 marzo. s.p
- FAO. 1977.** Fire Danger Rating Systems. Technical consultation on forest fire in the mediterranean region. By A. G. Mc Arthur. CSIRO, Division of Forest Research. Camberra, Australia. FO:FRR/77/3-01. 16 p.
- FAO. 1986.** Wildland Fire Management Terminology. Roma, Italia, FAO Forestry paper N°70. 257 p.
- FAO. 1988.** Soil map of the World, Revised legend. Roma, Italia. World soil resources report, 60. UNESCO. 99 p.
- FAO. 2001.** Informe sobre la reunión internacional de expertos FAO/OIMT sobre el manejo de los incendios forestales. Roma, Italia. 24 p.
- Ferguson , E. 2002.** The Linton fire. In Short course on forest fire behaviour. ADAI. Luso, Portugal. 1-10 p.
- Ferreira, A. 2002.** Programas para calcular el índice de peligro español (IPE) y el índice de peligro canadiense (FWI). Departamento de Ingeniería Mecánica, Universidad de Coimbra. Coimbra, Portugal. s.p.
- Ferreira, A.; Montero, J.; Viegas, D. 1990.** Properties of the flow around two and three-dimensional hills in order to predict forest fire behaviour. In International Conference on Forest Fire Research. Editado por D. Viegas. Coimbra, Portugal. B.09-1-17.
- Finney, M. 1997.** FARSITE: Fire area simulation v3.0. Users guide and technical documentation. s/p
- Flannigan, M.; Harrington, J. 1988.** A study of the relation of meteorological variables to monthly provincial area burned by wildfire in Canada (1953-80). Journal of Applied Meteorology (Canada) 27:441-452.
- Fogarti, L.; Pearce, H.; Catchpole, C. 1998.** Adoption Vs. Adaptation: Lessons from applying the Canadian Forest Fire Danger Rating Systems in New Zealand. In III International Conference on Forest Fire Research. 14ª. Conference on Fire and Forest Meteorology: Editado por D. Viegas. Luso; Coimbra, Portugal. ADAI. p. 1.011-1.028.
- Fogarty, L.; Pearce, H.; Catchpole, W.; Alexander, M. 1998.** Adoption vs. Adaption: Lessons from applying the canadian forest fire danger rating systems in New Zealand. In III International Conference on Forest Fire Research. 14ª. Conference on Fire and Forest Meteorology. Editado por D. Viegas. Luso, Coimbra, Portugal. ADAI. v.1, p. 1.011-1.028.
- Font Toullot, I. 2000.** Climatología de España y Portugal. 2 ed. Salamanca, España. Universidad de Salamanca. 422 p.

- Forestry Branch. 1959.** Forest fire danger tables. Canadian Department Northern Aff. Natural Resource, For. Br. Issued separately for Saskatchewan and Alberta. 14 p.
- Fuentes, E.; Segura, A.; Holmgren, M. 1994.** Are the responses of matorral shrubs different from those in a ecosystem with reputed fire history?. *In* The role of fire in Mediterranean-type ecosystems. Editado por J. Moreno y W. Oechel. New York, EE.UU. Springer-Verlag, Ecological Studies 107. p. 16-25.
- Gandullo, J. 1998.** Breve catálogo de los suelos forestales españoles. *In* Prontuario forestal. Editado por la Asociación y Colegio de Ingenieros de Montes. Madrid, España. DGCNA. p. 36-42.
- García, L. 1985.** La meteorología y su relación con los incendios forestales. *In* Estudios sobre prevención y efectos ecológicos de los incendios forestales. Editado por el Servicio de Publicaciones Agrarias. Madrid, España. Instituto Nacional para la Conservación de la Naturaleza (ICONA). p. 9-14.
- Generalitat de Catalunya. 1994.** Plan de protección civil ante emergencias de incendios forestales en Catalunya (INFOCAT). Departamento de Gobernación, Gerencia de Protección Civil. Barcelona, España. 98 p.
- GESTOSA. 1998-2000.** Experimental burns in Mediterranean type shrubland. Association for the Development of Industrial Aerodynamics (ADAI), Forest Fire Research Center (CEIF). 4p.
- Gobierno de Canarias. 2000.** Plan de protección civil por incendios forestales en Canarias (INFOCA). Consejería de Política Territorial y Medio Ambiente, Viceconsejería del Medio Ambiente. Canarias, España. 53 p.
- Gobierno Vasco. 1998.** Plan de emergencia para incendios forestales de la Comunidad Autónoma del país Vasco. Departamento del interior. Servicio Central de Publicaciones del Gobierno Vasco. Vitoria, España. 105 p.
- Granström, A. 1993.** Spatial and temporal variation in lightning ignitions in Sweden. *Journal of Vegetation Science* (Suecia) 4:737-744.
- Guijarro, M. 1999.** Comportamiento del fuego y régimen térmico en diferentes complejos de combustible forestal. Tesis Doctoral. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes, Universidad Politécnica de Madrid. Madrid, España. 230 p.
- Harrington, J.; Flannigan, M.; Van Wagner, C. 1983.** A study of the relation of components of Fire Weather Index to monthly provincial area burned in Canada, 1953-1980. Petawawa, Canada. Environment Canadian, Canadian Forest Service, Forest Fire Research Institute. Information Report PIX-25. 65 p
- Hartford, R.; Rothermel, R. 1991.** Fuel moisture as measured and predicted during the 1 988 fires in Yellowstone Park. United States Department of Agriculture, Forest Service. Intermountain Research Station, Utah, EE.UU. Research Note INT-396. 7 p.

- Henry, D. 1994.** Prehistoric cultural ecology in southern Jordan. *Science* (EE.UU.) 265: 336-341.
- ICONA. 1982.** Manual para la predicción del peligro de incendios forestales. Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación. Madrid, España. Servicio de Publicaciones Agrarias. 110 p.
- ICONA. 1991.** Los incendios forestales en España durante el año 1991. Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación. Madrid, España. 69p.
- ICONA. 1992.** Los incendios forestales en España durante el año 1992. Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación. Madrid, España. 75 p.
- ICONA. 1993.** Los incendios forestales en España durante el año 1993. Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación. Madrid, España. 75 p.
- Instituto de Meteorología. 2001.** Parâmetros meteorológicos relevantes para os incêndios florestais. *In* Curso de Meteorologia aplicada aos incêndios florestais. Centro de Estudos sobre Incêndios Florestais. Coimbra, Portugal. ADAI. s/p.
- Instituto Nacional de Meteorología. 1996.** Campaña de apoyo meteorológico para la prevención y lucha contra incendios forestales. Subdirección General de Redes, Sistemas y Producción Meteorológica. Madrid, España. 35 p.
- Instituto Nacional de Meteorología. 2002.** Campaña de apoyo meteorológico para la prevención y lucha contra incendios forestales. Subdirección de General de Redes, Sistemas y Producción Meteorológica. Madrid, España. 29 p.
- Johnson, E. 1992.** Fire and the vegetation dynamics: studies from the North American Boreal forest. Cambridge, United Kindon, Cambridge University Press.. 129 p.
- Johnson, V. 1966.** Seasonal fluctuation in moisture content of pine foliage. United states Department of Agriculture, Forest Service. North Central Forest Experimental Station, Minnesota, EE.UU. Research note NC-11. 4 p.
- Junta de Castilla y León. 2000.** Plan de protección civil ante emergencias frente al riesgo de incendios forestales en Castilla y León (INFOCAL). <http://www.jcyl.es/jcyl/cmaot/dgmn/incendios/infocal.html>. (Consulta: 2 de noviembre del 2000).
- Junta de Comunidades de Castilla La Mancha. 2000.** Plan de la Comunidad Autónoma de Castilla La Mancha de emergencia por incendios forestales. Consejería de Agricultura y Medio Ambiente. 95 p. más Anexos.
- Junta de Extremadura. 2000.** Normativa de la lucha contra incendios forestales. Consejería de Agricultura y Medio Ambiente. Cáceres, España. s/p.
- Kiil, A.; Mac Tavish, J. 1962.** Forest fire danger tables: District of Mackenzie, Northwest territories. Canadian Department Forestry, Forest Res. Br. 12 p.

- Krueger, D. 1959.** The relation of monthly fire occurrence in Georgia to mean monthly values of weather elements. *Monthly Weather Review* (EE.UU.) 87(10):383-387.
- Larsen, J.; Delavan, C. 1922.** Climate and forest fire in Montana and Northern Idaho, 1909 to 1919. *Monthly Weather Review* (EE.UU.) 49(2):60-62.
- LATUV. 2002.** Proyecto de Desarrollo mejora y difusión de un índice de previsión del peligro de incendios forestales". Laboratorio de Teledetección de la Universidad de Valladolid. Valladolid, España. 8 p.
- Ley 2/1985, de 21 de enero. 1985.** De protección civil. España. Jefatura del Estado. Boletín Oficial del Estado N° 22.
- Ley 5/1999, de 29 de junio. 1999.** De prevención y lucha contra los incendios forestales. España. Consejería de Medio Ambiente. Boletín Oficial de la Junta de Andalucía N° 82.
- Ley 6/1984, de 29 de octubre. 1984.** Sobre protección y fomento de las especies forestales autóctonas. España. Diputación Regional de Cantabria. Boletín Oficial de Cantabria N° 162.
- Loomis, R.; Main, W. 1980.** Comparing jack pine slash and forest floor moisture contents and National Fire Danger Rating System predictions. United States Department of Agriculture, Forest Service. North Central Forest Experimental Station, Minnesota, EE.UU. Research paper NC-189. 10 p.
- Lopes, A. Viegas, D. 1990.** Wind- tunnel simulation of the influence of the wind characteristics on the propagation of forest fires in canyon shaped hills. In International Conference on Forest Fire Research. Editado por D. Viegas. Coimbra, Portugal. B.10-11-1.
- Lopes, A.; Sousa, A.; Viegas, D. 2002.** Numerical simulation of turbulent flow an fire propagation in complex topography. In Short course on forest fire behaviour. . ADAI. Luso, Portugal. p. 239-253.
- Lopes, A.; Sousa, A.; Viegas, D. 2002.** Numerical simulation of turbulent flow an fire propagation in complex topography. In Short course on forest fire behaviour. . ADAI. Luso, Portugal. p. 239-253.
- Mac Tavish, J. 1965.** Forest fire danger tables: British Columbia-Coast. Canadian Department Forestry. Publication 1099. 20 p.
- Mangan, R. 2002.** Thirtymile: a 21st century American wildfire tragedy. In Short course on forest fire behaviour. ADAI. Luso, Portugal. s/p.
- Manry, D.; Knight, R. 1986.** Lightning density and burning frequency in South African vegetation. *Vegetatio* (Holanda) 66:67-76.
- Manta, M. Mestre, A. Martinez S. 2003.** Forecasting monthly variations in forest fire to enhance wildland firefighter safety. (en elaboración).

- Manta, M; Viegas, D.; Mata Reis, R. 2002.** Reliability of the fire weather index using data from meteorological stations in central Portugal. In IV International Conference on Forest Fire Research. 2002 Wildland Fire Safety Summit. Edited by D. Viegas. Luso, Portugal. ADAI, University of Coimbra. p. 53.
- Martinez-Millan, J.; Saura, S. 2000.** El modelo CARDIN. In La Defensa Contra Incendios Forestales. Fundamentos y experiencias. Editado por A. García. Madrid, España. Mc. Graw Hill. p. 9.22-9.35.
- Mata Reis, R. 1998.** Scales for the assesment of forest fire danger. In III International Conference on Forest Fire Research. 14ª. Conference on Fire and Forest Meteorology. Editado por D. Viegas. Luso, Coimbra, Portugal. ADAI. v.1, p. 1.235-1.243.
- Mata Reis, R. 1998.** Scales for the assessment of forest fire danger. In III International Conference on Forest Fire Research. 14ª. Conference on Fire and Forest Meteorology. Editado por D. Viegas. Luso; Coimbra, Portugal. ADAI. p. 1.235-1.243.
- McArthur, A. 1966.** Forest fire danger meter MK6-1977.
- McArthur, A. 1977.** Grassland Fire Danger Meter MK5-1977.
- Mees, R. 1991.** Is arson associated with severe fire weather in Southern California?. International Journal of Wildland Fire (Australia) 1:97-100.
- Mérida, J. 2000.** Factores meteorológicos. In La Defensa Contra Incendios Forestales. Fundamentos y experiencias. Editado por A. García. Madrid, España. Mc. Graw Hill. p. 8.1-8.10.
- Mérida, J. 2000a.** Las bases de datos para definir el fenómeno de los incendios forestales. In La Defensa Contra Incendios Forestales. Fundamentos y experiencias. Editado por A. García. Madrid, España, Mc. Graw Hill. 1.7-1.22.
- Merril, D.; Alexander, M. 1987.** Glossary of forest fire management terms. 4ºed. National Resource Council Canadian. Canadian Comm. Forest Fire Manage. Ottawa, Ontario, Canada. Publication NRCC N° 26516. 91 p.
- Mestre, A. 2003.** La información y las predicciones meteorológicas como apoyo a la toma de decisiones en el sector agrario. In Riesgos climáticos e impacto ambiental. Editado por Carlos García-Legaz y Francisco Valero. Madrid, España. IRAGRA, S.A. p. 264-282.
- Mestre, A. 2003a.** Índices de peligro meteorológico de incendios forestales. Instituto Nacional de Meteorología. Madrid, España. Subdirección General de Predicción y Redes Meteorológicas. (Comunicación personal: 7 de julio).
- Meteorología Paraná. 2003.** Fenómenos meteorológicos. Paraná, Brasil. En: <http://www.meteoropara.hpg.com.br>. [Consulta: 20 de junio de 2003].

- Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación. 1994.** Los incendios forestales en España durante el año 1994. Madrid, España. 89 p.
- Ministerio de agricultura Pesca y Alimentación. 1994.** Segundo inventario forestal nacional 1986-1995. Castilla y León. Ávila. Servicio de Inventario Forestal. Edita ICONA. Madrid, España. 263 p.
- Ministerio de agricultura Pesca y Alimentación. 1995.** Segundo inventario forestal nacional 1986-1995. Comunidad Valenciana, Valencia. Subdirección General de Espacios Naturales y Vida Silvestre. Edita Mapa. Madrid, España. 163 p.
- Ministerio de agricultura Pesca y Alimentación. 1995a.** Segundo inventario forestal nacional 1986-1995. Comunidad Valenciana, Alicante. Subdirección General de Espacios Naturales y Vida Silvestre. Edita Mapa. Madrid, España. 136 p.
- Ministerio del Medio Ambiente. 2002.** Plan Forestal Español 2002. Madrid, España. 134 p.
- Minnich, R. 1989.** Chaparral fire history in San Diego County and adjacent northern Baja California: An evaluation of natural fire regimes and the effects of suppression management. *In* The California chaparral: Paradigms reexamined. Ed. by S. C. Keeley. Los Angeles, Estados Unidos. Natural History Science Series 34: p. 7-47 p.
- Miranda, I. 1998.** Efeito dos incendios florestais na qualidade do ar. Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para obtenção do grau de Doutor em Ciências Aplicadas ao Ambiente. Aveiro, Portugal. 213 p.
- Molina, D 2000.** Planes de quemas. Prescripciones. *In* La Defensa Contra Incendios Forestales. Fundamentos y experiencias. Editado por A. García. Madrid, España. Mc. Graw Hill. p. 14.42-14.61.
- Molina, D. 2000a.** Fuego prescrito. *In* La Defensa Contra Incendios Forestales. Fundamentos y experiencias. Editado por A. García. Madrid, España. Mc. Graw Hill. p. 14.36-14.42.
- Molina, D. 2001.** Silvicultura preventiva de incendios. Nuevas tecnologías. *In* Curso Internacional "Incendios forestales: Investigación de causas y nuevas tecnologías para la prevención y extinción". Centro Internacional para Estudios avanzados en Agronomía Mediterránea, Instituto Agronómico Mediterráneo de Zaragoza/FAO/Comité de Silva Mediterránea. Zaragoza, España. s/p.
- Moreno, M. 2000.** Informe técnico sobre la utilización de los índices de peligro. Dirección General del Medio Natural. Logroño, España. 7 p.
- Muraro, S. 1968.** A modular approach to a revised National Fire Danger System. *In* Contributions on the development of a National Fire Danger System. Victoria, Canada. Canadian Forest Service, Forest Research Laboratory, Information Report BC-X.37. p. 1-9.

- Naveh, Z. 1994.** The role of fire and its management in the conservation of Mediterranean ecosystems and landscapes. *In* The role of fire in Mediterranean-type ecosystems. Editado por J. Moreno y W. Oechel. New York, EE.UU. Springer-Verlag, Ecological Studies 107. p. 163-186.
- Olson, J. 1981.** Carbon balance in relation to fire regimes. *In* Fire regimes and ecosystem properties. Coordinated by H. Mooney, T. Bonnicksen, N. Chistensen, J. Lotan y W. Reiners. General Technical Report WO-26. p. 327-378.
- Ontañón, C. 2000.** Informe técnico MBM/ aps 2000818 sobre la utilización de los índices de peligro. Dirección General del Medio Natural. Departamento del Medio Ambiente. Aragón, España. 19 p.
- Orden 20/2000, de 20 de junio. 2000.** Sobre prevención de incendios en terrenos forestales y agrícolas. España. Consejería de Turismo y Medio Ambiente. Boletín Oficial de la Rioja N° 80.
- Orden de 2 de abril de 1993. 1993 .** Por la que se publica el acuerdo del Consejo de Ministros que aprueba la directriz básica de planificación de protección civil de emergencia por incendios forestales. España. Consejo de Ministros. Boletín Oficial del Estado N° 90
- Orden de 2 de febrero de 2000. 2000.** Sobre prevención y lucha contra incendios forestales en la Comunidad Autónoma de Aragón para la campaña 2000/2001. España. Departamento de Medio Ambiente. Boletín Oficial de Aragón N° 18.
- Orden de 7 de marzo de 2000. 2000.** De modificación del contenido del artículo 2.- Época de peligro, de la Orden del 2 de febrero de 2000, sobre prevención y lucha contra incendios forestales en la Comunidad Autónoma de Aragón para la campaña 2000/2001, y de modificación de las autorizaciones para la realización de quemas agrícolas y forestales concedidas con anterioridad a la promulgación de la presente disposición. España. Departamento de Medio Ambiente. Boletín Oficial de Aragón N° 18.
- Orden de 9 de marzo de 2000. 2000.** Por el que se regula la campaña de prevención de incendios forestales correspondiente al año 2000. España. Consejo de Agricultura y Medio Ambiente. Boletín Oficial de Castilla la Mancha.
- Orden Foral 812 de 18 de julio de 2000. 2000.** Ordenación del territorio y vivienda, por el que se señala la fecha del inicio de la quema de rastrojeras y se regula su práctica para el año 2000. España. Consejo del Medio Ambiente. Boletín Oficial de Navarra N° 91.
- Paul, P.; Mac Tavish, J. 1965.** Forest fire danger tables: British Columbia-Cariboo. Canadian Department Forestry. Publication 1101. 18 p.
- Peña , D. 1989.** Estadísticas modelos y métodos. 1. Fundamentos. 2ed. Madrid, España, Alianza Universidad Textos. v.1, 571 p

- Peña , D. 1989.** Estadísticas modelos y métodos. 2. Modelos lineales y series temporales. 2ed. Madrid, España, Alianza Universidad Textos. v.2, 745 p.
- Peral, C.; Mestre, A.; Garcia, J. 2000.** The drought of 1991-5 in southern Spain. Analysis, economic repercussions, and response measures. *In* Drought. A global assessment. Routledge, hazards and disaster series. Ed. By D. A. Wilhite. Routledge, London, U.K. ADAI. v.1, p. 367-380.
- Piñar, J.; Jiménez, C. 1997.** Legislación forestal. 3ª ed. Madrid, España, TECNOS. 570 p.
- Plan de emergencia por incendios forestales de la Comunidad Autónoma de Andalucía (INFOCA). 2000.** Consejería de Medio Ambiente. Junta de Andalucía. 11 p.
- Plan de protección civil de emergencias por incendios forestales (INFOCAT). 2000.** Canpanya d'estiu. Previsiones. Sigues prudent. 34 p.
- Pouliot, L. 1991.** Prévisions des indices forêt-meteo. Quebec, Canada, Environment Canada Report. 32 p.
- Pyne, S.; Andrews, P.; Laven, R. 1996.** Introduction to Wildland fire. 2 Ed. N. Y., EE. UU. John Wiley & Sons, Inc. 769 p.
- Ramos, C.; Ventura, José. 1992.** Um índice climático de perigo de incêndio aplicado aos fogos florestais em Portugal. Finisterra (Portugal) XXVII (53-54):79-93.
- Resolución del 11 de mayo de 1998.** Por la que se aprueban las normas sobre quemas en el territorio del Principado de Asturias. España. Consejería de Agricultura. Boletín Oficial del Principado de Asturias. s/n.
- Rigolot, 2001.** Nouvelles technologies pour la sylviculture preventive: le brûlage dirigé. *In* Curso Internacional "Incendios forestales: Investigación de causas y nuevas tecnologías para la prevención y extinción". Centro Internacional para Estudios avanzados en Agronomía Mediterránea, Instituto Agronómico Mediterráneo de Zaragoza/FAO/Comité de Silva Mediterránea. Zaragoza, España. p. 1-24.
- Rijks, D.; Ciesla, M. 1992.** Météorologie et incendie de forêt. Geneva, Suisse. WMO. 24 .p
- Ríos S. 1973. Métodos estadísticos.** Madrid, España, Ediciones del Castillo. 498 p.
- Rodríguez, F. 1998.** Modelo matemático para la determinación de los parámetros meteorológicos necesarios para el seguimiento del riesgo y obtención de los pronósticos de comportamiento del fuego en los incendios forestales. Aplicación al parque natural de los Alcornocales. Tesis Doctoral. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes, Universidad Politécnica de Madrid. Madrid, España. 168 p.

- Rodríguez, F. 2002a.** Los fenómenos sorprendidos en el comportamiento del fuego. Análisis del incendio forestal de Alajar ocurrido el 30 de Junio de 1999 en la provincia de Huelva. Descripción del fenómeno explosivo que ocasiona la muerte de cuatro combatientes. In Short course on forest fire behaviour. ADAI. Luso, Portugal. 1-24 p.
- Roldán, A. 1985.** Notas para una climatología de La Coruña. Ministerio de transporte Turismo y Comunicación / Instituto Nacional de Meteorología. Madrid, España. Serie, K-15. 47 p.
- Roldán, A. 1985a.** Notas para una climatología de Valencia. Ministerio de transporte Turismo y Comunicación / Instituto Nacional de Meteorología. Madrid, España. Serie, K-6. 45 p.
- Roldán, A. 1987.** Notas para una climatología de Ávila. Ministerio de transporte Turismo y Comunicación / Instituto Nacional de Meteorología. Madrid, España. Serie, K-22. 45 p.
- Roldán, A. 1987a.** Notas para una climatología de Alicante. Ministerio de transporte Turismo y Comunicación / Instituto Nacional de Meteorología. Madrid, España. Serie, K-21. 45 p.
- Rothermel, R. 1972.** A mathematical model for fire spread prediction in Wildland fuels. USDA Forest Service. Ogden, Utah, EE.UU. Research paper INT-115.
- Rothermel, R. 1983.** How to predict the spread and intensity of forest and range fires. USDA Forest Service. Ogden, Utah, EE.UU. General Technical Report INT-143. 120 p.
- Rothermel, R.; Burgan, R. 1984.** BEHAVE: Fire behaviour prediction and fuel modelling system. USA Forest Service. General Technical Report. INT-167.
- Ruiz, A.; Maseda, C.; Lourido, C. 2002.** Possibilities of dead fine fuels moisture prediction in *Pinus pinaster* Ait. stands at “Cordal de Ferreiros” (Lugo, north-western of Spain). In IV International Conference on Forest Fire Research. 2002 Wildland Fire Safety Summit. Edited by D. Viegas. Luso, Portugal. ADAI, University of Coimbra. p. 244.
- Rundel, P. 1981.** Structural and chemical components of flammability. In Fire regimes and ecosystem properties. Coordinated by H. Mooney, T. Bonnicksen, N. Chistensen, J. Lotan y W. Reiners. General Technical Report WO-26. p. 183-207.
- Ruza, F. 2000.** Informe técnico sobre la utilización de los índices de peligro. Junta de Comunidades de Castilla la Mancha. Toledo, España. 1 p y anexos.
- Salas, F. 2001.** La gestión de la defensa del medio natural contra los incendios forestales en Andalucía. In IX Conferencia Gestión del Medio Ambiente: Gestión de los ecosistemas forestales y de su defensa contra los incendios. Madrid, España. TECNOMA. s/p.

- Sampaio, O.; Soares, R.; Viegas, D. 1998.** Evaluation and test of four methods of forest fire danger in Sao Paulo, Brazil. *In* III International Conference on Forest Fire Research. 14^a. Conference on Fire and Forest Meteorology. Editado por D. Viegas. Luso; Coimbra, Portugal. ADAI. p.1.249-1.262.
- San Miguel, J. 2001.** <jesus.san-miguel.jrc.it>. "Forest Fire Risk Evaluation". En: <http://www.natural-hazards.aris.sai.jrc.it>. [Consulta: 5 de noviembre]
- Schroeder, M. 1950.** The Hudson Bay High and the spring fire season in the Lake Satates. *Bulletin of the American Meteorological Society* (EE. UU.) 31(4):111-118.
- Schroeder, M.; Buck, C. 1970.** Fire weather. A guide for application of meteorological information to forest fire control operations. United State Department of Agriculture, Forest Service. *Agriculture Handbook*. 360 p.
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI). 2002.** Fenómenos meteorológicos. Lima, Perú. En: <http://www.senamhi.com.pe> [Consulta: 20 de diciembre de 2002].
- Siegel, S. 1956.** *Nonparametric Statistics for the behavioural sciences*. New York, Toronto, London, Mc Graw-Hill Book Company. 244 p
- Simard, A. 1968.** The moisture content of forest fuels-III moisture content variation of fast responding fuels below the fibre saturation point. Forest Fire Research Institute. Information report FF-X-16. Ottawa, Ontario, Canada. 46 p.
- Sol, B. 1995.** Comparaison de diverse methodes d'estimation du danger meteorologique d'incendie sur le Sud-est de la France: Feux d'ete de la zone Cotiere et feux d'hiver des Alpes de Houte provence. Paris, France. Meteo-France, Note DIR/SE N° 15. 25 p.
- Sousa, R. 1988.** Notas para una climatología de Lugo. Ministerio de transporte Turismo y Comunicación / Instituto Nacional de Meteorología. Madrid, España. Serie, K-44. 45 p.
- Sousa, R. 1988a.** Notas para una climatología de Orense. Ministerio de transporte Turismo y Comunicación / Instituto Nacional de Meteorología. Madrid, España. Serie, K-47. 43 p.
- Space Application Institute (SAI). 2002.** Floods & fires: Natural Hazards project. En: <http://www.sai.jrc.it>. [Consulta: 20 de octubre de 2002].
- Stocks, B.; Lawson, B.; Alexander, M. Van Wagner, C.; McAlpine, R.; Lynham, T.; Dubé, D. 1989.** The Canadian Forest Fire Danger Rating System: an overview. *Forestry Chronicle* 65:450-457.
- Swetnam, T.; Betancourt, J. 1990.** Fire-southern oscillation relations in the southwestern United States. *Science* (EE.UU.) 249:1.017-1.020.

- Trabaud, L.; Christensen, N.; Gill, A. 1993.** Historical biogeography of fire in temperate and mediterranean ecosystem. _ Fire in the environment. The ecological, atmospheric, and climatic importance of vegetation fires. Editado por P. Crutzen, J. Goldammer. Chichester, Inglaterra. John Willey & Sons. p. 277-295.
- Turner, J.; Lawson, B. 1978.** Weather in the Canadian Forest Fire Danger Rating System: A user guide to national standards and practices. Victoria, Canada. Environment Canadian, Canadian Forest Service, Pacific Forest Research Centre. Information Report BC-X- 177. 40 p.
- Turner, J. 1953.** Intense drying periods over the southern coast of British Columbia. Victoria, Canada. Meteorological Division Technical Circular N° 154. s/p.
- Universidad Politécnica de Madrid. 2000.** Tipología documental. Referencias bibliográficas. Tesauro. Madrid, España. Servicio de Coordinación de Bibliotecas de la UPM. 8 p.
- Valette, J.; Sol, B.; Moro, C. 1994.** Flammability parameters and soil water reserve to improve the forecast of the meteorological forest fire danger index. . In II International Conference on Forest Fire Research. Editado por D. Viegas. Coimbra, Portugal. v. 2, p. 611-624.
- Van Wagner, C. 1987.** Development and structure of the Canadian forest fire weather index system. Ottawa, Canada. Canadian Forestry Service, Forestry Technical Report 35. 36 p.
- Vara, J. 2001.** Análisis comparativo de la operativa en la defensa contra incendios forestales de las Comunidades Autónomas de España. Proyecto Fin de Carrera. Madrid, España, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes, Universidad Politécnica de Madrid. 95 p. y Anexos.
- Vázquez, A. 1996.** Régimen de incendios en España peninsular: 1974-1994. Relación con la climatología y el paisaje. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Complutense de Madrid. Madrid, España. 277 p.
- Vázquez, A.; Moreno, J. 1993.** Sensitivity of the fire occurrence to meteorological variables in Mediterranean and Atlantic areas of Spain. Landscape and Urban planning (pais?) 24:129-142.
- Vázquez, A.; Moreno, J. 1998.** Patterns of lightning-, and people- caused fires in Peninsular Spain. International Journal Wildland Fire (Australia) 8(2):103-198.
- Vega, 2001;** Desarrollo de nuevos modelos de predicción del comportamiento del fuego para matorrales de Galicia. In Curso Internacional "Incendios forestales: Investigación de causas y nuevas tecnologías para la prevención y extinción". Centro Internacional para Estudios avanzados en Agronomía Mediterránea, Instituto Agronómico Mediterráneo de Zaragoza/FAO/Comité de Silva Mediterránea. Zaragoza, España. s/p.

- Vega, J. 2002.** Efectos del fuego prescrito sobre el suelo en pinares de *Pinus pinaster* Ait. de Galicia. Tesis Doctoral. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes, Universidad Politécnica de Madrid. Madrid, España. 717 p.
- Vega, J.; Casal, M. 1986.** Contraste de estimadores de humedad del combustible forestal fino muerto en montes arbolados de Galicia (NW de España). In Documentos del Seminario Sobre Métodos y Equipos para la Prevención de Incendios Forestales. Instituto para la Conservación de la Naturaleza. Valencia, España. p. 94-97
- Velasco, L. 2000.** Planes integrados de previsión alerta y vigilancia. In La Defensa Contra Incendios Forestales. Fundamentos y experiencias. Editado por A. García. Madrid, España. Mc. Graw Hill. 15.1-15.9.
- Velasco, L. 2000.** Planificación de redes de áreas cortafuegos. In La Defensa Contra Incendios Forestales. Fundamentos y experiencias. Editado por A. García. Madrid, España. Mc. Graw Hill. 14.18-14.36.
- Velasco, L. 2000.** Informe técnico sobre la utilización de los índices de peligro. Servicio de Prevención de Incendios Forestales. Dirección General de. Consejería del Medio Ambiente. Valencia, España. 9 p.
- Vélez, R. 1997.** Recent history of forest fires in Mediterranean area. In Forest fire risk and management. Proceedings of the European School of Climatology and Natural Hazards course. Edited by P. Balabanis, G. Eftichidis and R. Fantechi. Porto canas, Halkidiki, Greece. Office for official publications of the European communities, European Comission. p. 15-26.
- Vélez, R. 2000.** Los índices meteorológicos de peligro. In La Defensa Contra Incendios Forestales. Fundamentos y experiencias. Editado por A. García. Madrid, España. Mc. Graw Hill. p. 8.10-8.29.
- Vélez, R. 2000a.** Estrategias Defensivas: Determinantes ecológicos, sociales y económicos. In La Defensa Contra Incendios Forestales. Fundamentos y experiencias. Editado por A. García. Madrid, España. Mc. Graw Hill. 10.3-10.12.
- Vélez, R. 2000b.** Perspectiva histórica de los incendios forestales en España. In La Defensa Contra Incendios Forestales. Fundamentos y experiencias. Editado por A. García. Madrid, España, Mc. Graw Hill. 3.15-3.31.
- Vélez, R. 2000c.** Las bases internacionales de datos sobre incendios forestales. In La Defensa Contra Incendios Forestales. Fundamentos y experiencias. Editado por A. García. Madrid, España, Mc. Graw Hill. 2.8-2.11.
- Vélez, R. 2001.** La estrategia española para la protección contra incendios forestales. In IX Conferencia Gestión del Medio Ambiente: Gestión de los ecosistemas forestales y de su defensa contra los incendios. Madrid, España. TECNOMA. s/p.

- Verbesselt, J.; Fleck, S.; Coppin, P. 2002.** Estimation of fuel moisture content towards Fire Risk Assessment: A review. In IV International Conference on Forest Fire Research. 2002 Wildland Fire Safety Summit. Edited by D. Viegas. Luso, Portugal. ADAI, University of Coimbra. p. 55.
- Viegas 1997.** Forest fire origin, behaviour and evolution. In Forest fire risk and management. Proceedings of the European School of Climatology and Natural Hazards course. Edited by P. Balabanis, G. Eftichidis and R. Fantechi. Porto Canas, Halkidiki, Greece. Office for official publications of the European communities, European Commission. p. 29-49.
- Viegas, D. 1998.** Weather fuel status and fire occurrence: Predicting large fires. In Large forest fires. Edited by J.M. Moreno. Leiden, The Netherlands. Backhuys Publishers. p. 31-48.
- Viegas, D. 2003.** Forest fire behaviour. (En impresión)
- Viegas, D.; Mata, R.; Gomez, M.; Viegas, T. 2001.** Calibração do sistema canadiano de perigo de incêndios para su aplicação em Portugal. Lusitania Forestal.
- Viegas, D.; Matos, A.; Gomes, M. 2000.** Analysis of three fatal accidents involving Portuguese firefighters. In 2000 International wildfire safety summit. B. Butler and K. Shannon. Montana, EE.UU. International Association of Wildland Fire. p. 190-199.
- Viegas, D.; Piñol, J.; Viegas, T; Ogaya, R. 1998.** Moisture content of living forest fuels and their relationship with meteorological indices in the Iberian Peninsula. In III International Conference on Forest Fire Research. 14^a. Conference on Fire and Forest Meteorology. Editado por D. Viegas. Luso, Coimbra, Portugal. ADAI. v.1, p. 1.029-1.046.
- Viegas, D.; Piñol, J.; Viegas, T; Ogaya, R.2001a.** Estimating live fine fuels moisture content using meteorologically-based indices. International Journal of Wildland Fire (Australia) 10(2): 223-240.
- Viegas, D.; Pita, L. 2002.** Fire spread in canyons. In Short course on forest fire behaviour. . ADAI. Luso, Portugal. p. 1-22.
- Viegas, D.; Pita, L.; Matos, L.; Palheiro, P. 2002a.** Slope and wind effects on fire spread. In Short course on forest fire behaviour. . ADAI. Luso, Portugal. p. 1-24.
- Viegas, D.; Sol, B.; Bovio, G.; Nosenzo, A. & Ferreira, A.D. 1999.** Comparative Study of Various Methods of Fire Danger. International Journal of Wildland Fire (Australia) 9(4): 235-246.
- Viegas, D.; Viegas, M. 1994.** Relationship between rainfall and burned area for Portugal. International Journal of Wildland Fire (Australia) 4(1):11-16

- Viegas, D.; Viegas, T.; Ferreira, A. 1992.** Moisture content of fine forest fuels and fire occurrence in central Portugal. *International Journal of Wildland Fire (Australia)* 2(4):69-86.
- Viney, N.; Hatton, T. 1989.** Assessment of existing fine fuel of soil moisture models applied to eucalyptus litter. *Australian Forestry (Australia)* 52(2):82-93
- Wilks, D. 1995.** *Statistical methods in the atmospheric sciences.* New York, EE.UU. Academic Press. International Geophysics Series. v.59, 467 p.
- Woodward, F. 1987.** *Climate and plant distribution.* Cambridge, U.K, Cambridge University Press. 230 p.
- World Meteorological Organisation. 1966.** *Statistical analysis and prognosis in meteorology.* Technical Note N° 71. WMO N° 178. TP. 88. Geneva, Switzerland. Secretariat of the World Meteorological Organisation. 197 p.
- World Meteorological Organisation. 1968.** *Forecasting for forest fire services (Report of a working group of the Commission for Agricultural Meteorology).* WMO N° 110.TP.48. Geneva, Switzerland. Secretariat of the World Meteorological Organisation. 56 p.
- World Meteorological Organisation. 1994.** *Systems for evaluation and predicting the effects of weather and climate on Wildland fires.* Special Environment Report N° 11. WMO N° 496. Geneva, Switzerland. Secretariat of the World Meteorological Organisation. 34 p.
- Xunta de Galicia. 1996.** *Plan de protección civil ante emergencias de incendios forestales en Galicia (INFOGA).* Conselleria de Agricultura, Ganadería e Montes, Dirección Xeral de Montes e Medioambiente Natural. La Coruña, España. 160 p.

ANEXOS

Anexo 1. Cuestionario sobre el uso de índices meteorológicos de incendios forestales
(Este cuestionario se dirige a todos los miembros del CLIF)

Comunidad Autónoma:
Dirección General:

Fecha:

1. ¿Cuales son los índices meteorológicos de incendios forestales que usted conoce?
2. ¿Cuál es el índice que se calcula o usa en su Comunidad?
3. ¿Cuántos meses al año se calcula el índice?
4. ¿Está satisfecho con el Índice de Peligro de Incendios Forestales, también conocido como Grado Meteorológico de Peligro, enviado por los Grupos de Predicción y Vigilancia del Instituto Nacional de Meteorología?

SI NO
5. ¿Qué beneficios obtiene del Índice de Peligro de Incendios Forestales?
6. ¿ Se usa el Índice de Peligro de Incendios Forestales en las labores de extinción de incendios forestales, principalmente?

SI NO
7. ¿ Se usa el Índice de Peligro de Incendios Forestales para elaborar los Planes de Protección Civil de Emergencia por Incendios Forestales, principalmente?

SI NO
8. ¿Piensa usted que si usara otro índice meteorológico de incendios forestales los beneficios podrían ser mayores?

SI NO
9. En realidad ¿cree usted que el uso de algún índice meteorológico puede ayudar a prevenir la ocurrencia de incendios forestales?

SI NO

Anexo 1. Cuestionario sobre el uso de índices meteorológicos de incendios forestales
Este cuestionario se dirige a todos los miembros del CLIF)
(Continuación)

Comunidad Autónoma:
Dirección General:

Fecha:

10. ¿Cree usted que los índices meteorológicos de peligro se deben divulgar al gran público?

SI NO

11. ¿ Se divulgan los índices meteorológicos de incendios a través de los medios de comunicación, en su Comunidad,?

SI NO

12. Si la respuesta es sí, ¿De qué manera lo hace?

13. Fuera de la época de peligro, ¿El Índice de Peligro de Incendios Forestales se utiliza en las actividades de prevención?

SI NO

14. ¿ Si la respuesta es sí, ¿De qué manera lo hace (mapas de riesgo, permisos de quemas, permiso de acampada, etc.)?

15. ¿ Cómo se realiza la ordenación y regulación de los usos y actividades humanas relacionadas con el fuego, fuera de la época de peligro (principalmente quemas), en su Comunidad,?

16. ¿Qué criterios técnicos se siguen para ordenar y regular las actividades humanas fuera de la época de peligro?

17. ¿La población rural está conforme con los criterios empleados en las autorizaciones y prohibiciones de actividades humanas fuera de la época de peligro (principalmente quemas)?

SI NO

18. ¿ El Índice de Peligro Español es utilizado para denunciar el uso no autorizado del fuego?

SI NO

Anexo 2. Programa de cálculo del Índice de Peligro de Incendios Forestales IPIF,
"Risco"

```
10 '-----
15 ' Programa de calculo do indice de risco
17 ' Realizado por Almerindo Domingues Ferreira em Jan/93
18 ' Versao alterada em 22/04/2002: inclusao das tabelas HBC p/
19 ' todos os meses do ano
20 '-----
50 CLS
60 'GOTO 11000
71 INPUT "Ficheiro a tratar? (*.prn)", ANO$
72 ANO$ = "D:\Risco\" + ANO$ + ".prn"
110 GOSUB 1000 'Rotina de entrada de dados
150 GOSUB 6000 'Rotina de calculo do indice espanhol
155 CLOSE ALL
160 PRINT "Programa terminado normalmente": STOP
999 '-----
1000 ' Rotina de entrada de dados
1001 '-----
1010 DIM FF(1900), tt(1900), HR(1900), DD(1900)
1011 DIM fecha$(1900)
1030 ESTACAO$ = ANO$: AE = 1.621: IE = 71.251
1040 OPEN ESTACAO$ FOR INPUT AS #1
1041 INPUT #1, AS$
1045 NDIAS = 3700
1050 FOR j = 1 TO NDIAS
1060 IF EOF(1) THEN NDIAS = j - 1: GOTO 1100
1070 'INPUT #1,N(J),DD(J),FF(J),TT(J),TD(J),HMD(J),RRR(J)
1072 INPUT #1, tt(j), HR(j), FF(j), DD(j), fecha$(j)

1075 PRINT j, fecha$(j), tt(j), HR(j), FF(j), DD(j)
1080 'FF(J)=FF(J)*1.8532 'Conversao de nos para Km/h
1085 'DD(J)=DD(J)/10 'Conversao direccao para dezenas
1090 NEXT j
1100 RETURN
1999 '-----
6000 REM Indice Espanhol
6005 OPEN "d:\risco\IR-E.DAT" FOR OUTPUT AS #2

6006 'OPEN "IRA.DAT" FOR OUTPUT AS #3
6007 'OPEN "IRLL.DAT" FOR OUTPUT AS #4
6010 CLS
6015 'GOSUB 8000
6020 FOR j = 1 TO NDIAS
6030 'T=TT(J):TD=TD(J):DIF=TT(J)-TD(J)
6040 'IF DIF=0 THEN H=100:GOTO 6130
6045 'IF DIF>20 THEN PRINT T,TD:INPUT "H=",H:GOTO 6130
6050 'H=TH(T,DIF):IF H=0 THEN PRINT T,TD:INPUT "H=",H
6051 h = HR(j): T = tt(j)
6060 mes = VAL(MID$(fecha$(j), 4, 2))
6130 FF = FF(j): DD = DD(j)
```

6135 GOSUB 16000 'Humidad del combustible :HBC

```
6550 REM TABELA 5.6, S entre 10-50
6560 IF T >= 0 AND T < 5 AND hbc = 2 THEN PIG = 80
6570 IF T >= 5 AND T < 20 AND hbc = 2 THEN PIG = 90
6580 IF T >= 20 AND hbc = 2 THEN PIG = 100
6590 IF T >= 0 AND T < 5 AND hbc = 3 THEN PIG = 70
6600 IF T >= 5 AND T < 25 AND hbc = 3 THEN PIG = 80
6610 IF T >= 25 AND T < 40 AND hbc = 3 THEN PIG = 90
6620 IF T >= 40 AND hbc = 3 THEN PIG = 100
6630 IF T >= 0 AND T < 5 AND hbc = 4 THEN PIG = 60
6640 IF T >= 5 AND T < 25 AND hbc = 4 THEN PIG = 70
6650 IF T >= 25 AND hbc = 4 THEN PIG = 80
6660 IF T >= 0 AND T < 5 AND hbc = 5 THEN PIG = 50
6670 IF T >= 5 AND T < 25 AND hbc = 5 THEN PIG = 60
6680 IF T >= 25 AND hbc = 5 THEN PIG = 70
6690 IF T >= 0 AND T < 5 AND hbc = 6 THEN PIG = 40
6700 IF T >= 5 AND T < 25 AND hbc = 6 THEN PIG = 50
6710 IF T >= 25 AND hbc = 6 THEN PIG = 60
6720 IF T >= 0 AND T < 5 AND hbc = 7 THEN PIG = 30
6730 IF T >= 5 AND T < 15 AND hbc = 7 THEN PIG = 40
6740 IF T >= 15 AND T < 40 AND hbc = 7 THEN PIG = 50
6750 IF T >= 40 AND hbc = 7 THEN PIG = 60
6760 IF T >= 0 AND T < 5 AND hbc = 8 THEN PIG = 30
6770 IF T >= 5 AND T < 35 AND hbc = 8 THEN PIG = 40
6780 IF T >= 35 AND hbc = 8 THEN PIG = 50
6790 IF T >= 0 AND T < 5 AND hbc = 9 THEN PIG = 20
6800 IF T >= 5 AND T < 20 AND hbc = 9 THEN PIG = 30
6810 IF T >= 20 AND hbc = 9 THEN PIG = 40
6820 IF T >= 0 AND T < 5 AND hbc = 10 THEN PIG = 20
6830 IF T >= 5 AND T < 35 AND hbc = 10 THEN PIG = 30
6840 IF T >= 35 AND hbc = 10 THEN PIG = 40
6850 IF T >= 0 AND T < 20 AND hbc = 11 THEN PIG = 20
6860 IF T >= 20 AND hbc = 11 THEN PIG = 30
6870 IF T >= 0 AND T < 5 AND hbc = 12 THEN PIG = 10
6880 IF T >= 5 AND T < 30 AND hbc = 12 THEN PIG = 20
6890 IF T >= 30 AND hbc = 12 THEN PIG = 30
6900 IF T >= 0 AND T < 5 AND hbc = 13 THEN PIG = 10
6910 IF T >= 5 AND hbc = 13 THEN PIG = 20
6920 IF T >= 0 AND T < 15 AND hbc = 14 THEN PIG = 10
6930 IF T >= 15 AND hbc = 14 THEN PIG = 20
6931 IF T >= 0 AND T < 30 AND hbc = 15 THEN PIG = 10
6932 IF T >= 30 AND hbc = 15 THEN PIG = 20
6933 IF T >= 0 AND T < 40 AND hbc = 16 THEN PIG = 10
6934 IF T >= 40 AND hbc = 16 THEN PIG = 20
6935 IF T >= 0 AND hbc = 17 THEN PIG = 10
6940 IF DD > 180 THEN GOTO 6960
6950 IF DD >= 0 AND DD <= 180 THEN GOTO 7010
6960 IF PIG >= 0 AND PIG <= 20 AND FF >= 0 AND FF <= 7 THEN RISCO = 0
6961 IF PIG >= 0 AND PIG <= 20 AND FF > 7 AND FF <= 19 THEN RISCO = 0
6962 IF PIG >= 0 AND PIG <= 20 AND FF > 19 AND FF <= 35 THEN RISCO = 1
6963 IF PIG >= 0 AND PIG <= 20 AND FF > 35 THEN RISCO = 1
6970 IF PIG >= 30 AND PIG <= 40 AND FF >= 0 AND FF <= 7 THEN RISCO = 0
6971 IF PIG >= 30 AND PIG <= 40 AND FF > 7 AND FF <= 19 THEN RISCO = 1
6972 IF PIG >= 30 AND PIG <= 40 AND FF > 19 AND FF <= 35 THEN RISCO = 1
```

```

6973 IF PIG >= 30 AND PIG <= 40 AND FF > 35 THEN RISCO = 2
6980 IF PIG >= 50 AND PIG <= 60 AND FF >= 0 AND FF <= 7 THEN RISCO = 1
6981 IF PIG >= 50 AND PIG <= 60 AND FF > 7 AND FF <= 19 THEN RISCO = 2
6982 IF PIG >= 50 AND PIG <= 60 AND FF > 19 AND FF <= 35 THEN RISCO = 2
6983 IF PIG >= 50 AND PIG <= 60 AND FF > 35 THEN RISCO = 3
6990 IF PIG >= 70 AND FF >= 0 AND FF <= 7 THEN RISCO = 2
6991 IF PIG >= 70 AND FF > 7 AND FF <= 19 THEN RISCO = 2
6992 IF PIG >= 70 AND FF > 19 AND FF <= 35 THEN RISCO = 3
6993 IF PIG >= 70 AND FF > 35 THEN RISCO = 3
6995 GOTO 7100

```

```

7005 'Ventos secos (rumo entre 0 e 180§)
7010 IF PIG >= 0 AND PIG <= 20 AND FF >= 0 AND FF <= 7 THEN RISCO = 0
7011 IF PIG >= 0 AND PIG <= 20 AND FF > 7 AND FF <= 19 THEN RISCO = 1
7012 IF PIG >= 0 AND PIG <= 20 AND FF > 19 AND FF <= 35 THEN RISCO = 1
7013 IF PIG >= 0 AND PIG <= 20 AND FF > 35 THEN RISCO = 2
7020 IF PIG >= 30 AND PIG <= 40 AND FF >= 0 AND FF <= 7 THEN RISCO = 1
7021 IF PIG >= 30 AND PIG <= 40 AND FF > 7 AND FF <= 19 THEN RISCO = 2
7022 IF PIG >= 30 AND PIG <= 40 AND FF > 19 AND FF <= 35 THEN RISCO = 2
7023 IF PIG >= 30 AND PIG <= 40 AND FF > 35 THEN RISCO = 3
7030 IF PIG >= 50 AND PIG <= 60 AND FF >= 0 AND FF <= 7 THEN RISCO = 2
7031 IF PIG >= 50 AND PIG <= 60 AND FF > 7 AND FF <= 19 THEN RISCO = 2
7032 IF PIG >= 50 AND PIG <= 60 AND FF > 19 AND FF <= 35 THEN RISCO = 3
7033 IF PIG >= 50 AND PIG <= 60 AND FF > 35 THEN RISCO = 3
7040 IF PIG >= 70 AND FF >= 0 AND FF <= 7 THEN RISCO = 2
7041 IF PIG >= 70 AND FF > 7 AND FF <= 19 THEN RISCO = 3
7042 IF PIG >= 70 AND FF > 19 AND FF <= 35 THEN RISCO = 3
7043 IF PIG >= 70 AND FF > 35 THEN RISCO = 3

```

```

7100 PRINT fecha$(j), RISCO, PIG
7102 'PRINT #2,RISCO
7104 PRINT #2, fecha$(j), RISCO, PIG
7105 IF h = 0 THEN PRINT "TT="; T, "TD="; TD, "DIF="; DIF: INPUT "H=", h
7106 'IRA=.05*H+.1*(27-T):PRINT #3,IRA
7108 IRL = T / h: IF IRL > 10 THEN IRL = 10
7109 'PRINT #4, IRL
7110 NEXT j
7115 CLOSE #2 'CLOSE #3:CLOSE #4
7120 RETURN

```

```

8000 REM Rotina de calculo da humidade relativa
8020 DATA
83,65,48,32,16,0,0,0,0,84,68,51,36,20,0,0,0,0,84,69,54,39,24,0,0,0,0,85,70,56,42,28,0,0,0,
0,0,85,72,58,45,32,18,0,0,0,85,73,60,47,35,23,11,0,0,0,87,75,61,49,37,26,14,0,0,0
8030 DATA
87,75,62,51,40,29,18,7,0,0,88,76,64,53,42,31,21,11,0,0,88,77,65,55,44,34,24,14,5,0,88,77,66,5
6,46,36,26,17,8,0,89,78,68,57,48,38,29,20,11,3,89,79,69,59,49,40,31,23,14,6
8040 DATA
90,79,70,60,51,42,33,25,17,9,90,80,71,61,53,44,35,27,20,12,90,81,71,62,54,46,37,30,22,15,90,
81,72,63,55,47,39,32,24,17,91,82,73,65,56,49,41,34,27,20,91,82,74,65,58,50,43,36,29,22
8050 DATA
91,83,74,66,59,51,44,37,31,24,91,83,75,67,60,52,45,39,32,26,92,83,75,68,61,54,47,40,34,28,92
,84,76,69,62,55,48,42,36,30,92,84,77,70,62,56,49,43,37,31,95,85,77,70,63,57,51,44,39,33

```



```

11215 PRINT I, N, FF, tt, TD, h
11220 NEXT I
11230 CLOSE ALL
16000 'Dados das tabelas 5.1, 5.2 e 5.3
IF (mes >= 5 AND mes <= 7) GOTO 16140
IF ((mes >= 2 AND mes <= 4) OR (mes >= 8 AND mes <= 10)) GOTO 16520
IF (mes = 1 OR mes = 11 OR mes = 12) GOTO 16920
PRINT "mes errado", mes: STOP

```

```

16140 'Dados da tabela 5.1 (HBC para MAY, JUN Y JUL)

```

```

16141 IF h <= 4 THEN hbc = 1
16142 IF h >= 5 AND h <= 9 AND T <= 20 THEN hbc = 2
16150 IF h >= 5 AND h <= 9 AND T > 20 THEN hbc = 1
16160 IF h >= 10 AND h <= 14 THEN hbc = 2
16170 IF h >= 15 AND h <= 19 AND T <= 20 THEN hbc = 3
16180 IF h >= 15 AND h <= 19 AND T > 20 THEN hbc = 2
16190 IF h >= 20 AND h <= 24 AND T <= 20 THEN hbc = 4
16200 IF h >= 20 AND h <= 24 AND T > 20 THEN hbc = 3
16210 IF h >= 25 AND h <= 29 AND T <= 20 THEN hbc = 5
16220 IF h >= 25 AND h <= 29 AND T > 20 THEN hbc = 4
16230 IF h >= 30 AND h <= 34 AND T <= 31 THEN hbc = 5
16240 IF h >= 30 AND h <= 34 AND T > 31 THEN hbc = 4
16250 IF h >= 35 AND h <= 39 AND T <= 20 THEN hbc = 6
16260 IF h >= 35 AND h <= 39 AND T > 20 THEN hbc = 5
16270 IF h >= 40 AND h <= 44 AND T <= 9 THEN hbc = 7
16280 IF h >= 40 AND h <= 44 AND T > 9 THEN hbc = 6
16290 IF h >= 45 AND h <= 49 THEN hbc = 7
16300 IF h >= 50 AND h <= 54 THEN hbc = 7
16310 IF h >= 55 AND h <= 59 THEN hbc = 8
16320 IF h >= 60 AND h <= 64 AND T < 0 THEN hbc = 9
16330 IF h >= 60 AND h <= 64 AND T >= 0 THEN hbc = 8
16340 IF h >= 65 AND h <= 69 AND T <= 20 THEN hbc = 9
16350 IF h >= 65 AND h <= 69 AND T > 20 THEN hbc = 8
16360 IF h >= 70 AND h <= 74 AND T <= 9 THEN hbc = 10
16370 IF h >= 70 AND h <= 74 AND T > 9 THEN hbc = 9
16380 IF h >= 75 AND h <= 79 AND T < 0 THEN hbc = 11
16390 IF h >= 75 AND h <= 79 AND T >= 0 THEN hbc = 10
16400 IF h >= 80 AND h <= 84 AND T < 0 THEN hbc = 12
16410 IF h >= 80 AND h <= 84 AND T >= 0 AND T <= 20 THEN hbc = 11
16420 IF h >= 80 AND h <= 84 AND T > 20 THEN hbc = 10
16430 IF h >= 85 AND h <= 89 AND T <= 20 THEN hbc = 12
16440 IF h >= 85 AND h <= 89 AND T > 20 THEN hbc = 11
16450 IF h >= 90 AND h <= 94 AND T <= 9 THEN hbc = 13
16460 IF h >= 90 AND h <= 94 AND T > 9 THEN hbc = 12
16470 IF h >= 95 AND h <= 99 AND T <= 9 THEN hbc = 13
16480 IF h >= 95 AND h <= 99 AND T > 9 THEN hbc = 12
16490 IF h = 100 AND T < 0 THEN hbc = 14
16500 IF h = 100 AND T >= 0 AND T <= 42 THEN hbc = 13
16510 IF h = 100 AND T > 42 THEN hbc = 12
RETURN

```

```

16520 'Dados da tabela 5.2 (HBC para FEB, MAR, ABR, AGO, SET Y OCT)

```

```

16530 IF h <= 4 THEN hbc = 2
16540 IF h >= 5 AND h <= 9 AND T <= 20 THEN hbc = 3
16550 IF h >= 5 AND h <= 9 AND T > 20 THEN hbc = 2

```

```

16560 IF h >= 10 AND h <= 14 THEN hbc = 3
16570 IF h >= 15 AND h <= 19 AND T <= 20 THEN hbc = 4
16580 IF h >= 15 AND h <= 19 AND T > 20 THEN hbc = 3
16590 IF h >= 20 AND h <= 24 AND T <= 20 THEN hbc = 5
16600 IF h >= 20 AND h <= 24 AND T > 20 THEN hbc = 4
16610 IF h >= 25 AND h <= 29 AND T <= 20 THEN hbc = 6
16620 IF h >= 25 AND h <= 29 AND T > 20 THEN hbc = 5
16630 IF h >= 30 AND h <= 34 AND T <= 31 THEN hbc = 6
16640 IF h >= 30 AND h <= 34 AND T > 31 THEN hbc = 5
16650 IF h >= 35 AND h <= 39 AND T <= 20 THEN hbc = 7
16660 IF h >= 35 AND h <= 39 AND T > 20 THEN hbc = 6
16670 IF h >= 40 AND h <= 44 AND T <= 9 THEN hbc = 8
16680 IF h >= 40 AND h <= 44 AND T > 9 THEN hbc = 7
16690 IF h >= 45 AND h <= 49 THEN hbc = 8
16700 IF h >= 50 AND h <= 54 THEN hbc = 8
16710 IF h >= 55 AND h <= 59 THEN hbc = 9
16720 IF h >= 60 AND h <= 64 AND T < 0 THEN hbc = 10
16730 IF h >= 60 AND h <= 64 AND T >= 0 THEN hbc = 9
16740 IF h >= 65 AND h <= 69 AND T <= 20 THEN hbc = 10
16750 IF h >= 65 AND h <= 69 AND T > 20 THEN hbc = 9
16760 IF h >= 70 AND h <= 74 AND T <= 9 THEN hbc = 11
16770 IF h >= 70 AND h <= 74 AND T > 9 THEN hbc = 10
16780 IF h >= 75 AND h <= 79 AND T < 0 THEN hbc = 12
16790 IF h >= 75 AND h <= 79 AND T >= 0 THEN hbc = 11
16800 IF h >= 80 AND h <= 84 AND T < 0 THEN hbc = 13
16810 IF h >= 80 AND h <= 84 AND T >= 0 AND T <= 20 THEN hbc = 12
16820 IF h >= 80 AND h <= 84 AND T > 20 THEN hbc = 11
16830 IF h >= 85 AND h <= 89 AND T <= 20 THEN hbc = 13
16840 IF h >= 85 AND h <= 89 AND T > 20 THEN hbc = 12
16850 IF h >= 90 AND h <= 94 AND T <= 9 THEN hbc = 14
16860 IF h >= 90 AND h <= 94 AND T > 9 THEN hbc = 13
16870 IF h >= 95 AND h <= 99 AND T <= 9 THEN hbc = 14
16880 IF h >= 95 AND h <= 99 AND T > 9 THEN hbc = 13
16890 IF h = 100 AND T < 0 THEN hbc = 15
16900 IF h = 100 AND T >= 0 AND T <= 42 THEN hbc = 14
16910 IF h = 100 AND T > 42 THEN hbc = 13
RETURN

```

16920 'Dados da tabela 5.3 (HBC para NOV, DIC,ENE)

```

16930 IF h <= 4 THEN hbc = 4
16940 IF h >= 5 AND h <= 9 AND T <= 20 THEN hbc = 5
16950 IF h >= 5 AND h <= 9 AND T > 20 THEN hbc = 4
16960 IF h >= 10 AND h <= 14 THEN hbc = 5
16970 IF h >= 15 AND h <= 19 AND T <= 20 THEN hbc = 6
16980 IF h >= 15 AND h <= 19 AND T > 20 THEN hbc = 5
16990 IF h >= 20 AND h <= 24 AND T <= 20 THEN hbc = 7
17000 IF h >= 20 AND h <= 24 AND T > 20 THEN hbc = 6
17010 IF h >= 25 AND h <= 29 AND T <= 20 THEN hbc = 8
17020 IF h >= 25 AND h <= 29 AND T > 20 THEN hbc = 7
17030 IF h >= 30 AND h <= 34 AND T <= 31 THEN hbc = 8
17040 IF h >= 30 AND h <= 34 AND T > 31 THEN hbc = 7
17050 IF h >= 35 AND h <= 39 AND T <= 20 THEN hbc = 9
17060 IF h >= 35 AND h <= 39 AND T > 20 THEN hbc = 8
17070 IF h >= 40 AND h <= 44 AND T <= 9 THEN hbc = 10
17080 IF h >= 40 AND h <= 44 AND T > 9 THEN hbc = 9

```

```
17090 IF h >= 45 AND h <= 49 THEN hbc = 10
17100 IF h >= 50 AND h <= 54 THEN hbc = 10
17110 IF h >= 55 AND h <= 59 THEN hbc = 11
17120 IF h >= 60 AND h <= 64 AND T < 0 THEN hbc = 12
17130 IF h >= 60 AND h <= 64 AND T >= 0 THEN hbc = 11
17140 IF h >= 65 AND h <= 69 AND T <= 20 THEN hbc = 12
17150 IF h >= 65 AND h <= 69 AND T > 2 THEN hbc = 11
17160 IF h >= 70 AND h <= 74 AND T <= 9 THEN hbc = 13
17170 IF h >= 70 AND h <= 74 AND T > 9 THEN hbc = 12
17180 IF h >= 75 AND h <= 79 AND T < 0 THEN hbc = 14
17190 IF h >= 75 AND h <= 79 AND T >= 0 THEN hbc = 13
17200 IF h >= 80 AND h <= 84 AND T < 0 THEN hbc = 15
17210 IF h >= 80 AND h <= 84 AND T >= 0 AND T <= 20 THEN hbc = 14
17220 IF h >= 80 AND h <= 84 AND T > 20 THEN hbc = 13
17230 IF h >= 85 AND h <= 89 AND T <= 20 THEN hbc = 15
17240 IF h >= 85 AND h <= 89 AND T > 20 THEN hbc = 14
17250 IF h >= 90 AND h <= 94 AND T <= 9 THEN hbc = 16
17260 IF h >= 90 AND h <= 94 AND T > 9 THEN hbc = 15
17270 IF h >= 95 AND h <= 99 AND T <= 9 THEN hbc = 16
17280 IF h >= 95 AND h <= 99 AND T > 9 THEN hbc = 15
17290 IF h = 100 AND T < 0 THEN hbc = 17
17300 IF h = 100 AND T >= 0 AND T <= 42 THEN hbc = 16
17310 IF h = 100 AND T > 42 THEN hbc = 15
RETURN
END
```

Anexo 3. Programa de cálculo del Índice Meteorológico de Incendios Forestales,
FWI “Canq”

```

REM-----
10 REM Indice canadiano
17 ' Realizado por Almerindo Domingues Ferreira em Jan/93
18 ' Versao alterada em 01/03/2002: inclusao das fechas en resultados
19'-----

20 DIM lmon(12), EL(12), FL(12), AST(12), TITLE(20), DAT(9), INFMT(49)
30 DATA 31,28,31,30,31,30,31,31,30,31,30,31
40 DATA 6.5,7.5,9,12.8,13.9,13.9,12.4,10.9,9.4,8,7,6
50 DATA -1.6,-1.6,-1.6,.9,3.8,5.8,6.4,5,2.4,.4,-1.6,-1.6
60 FO = 85: PO = 6: DOT = 15
70 CLS
75 INPUT "Ficheiro de dados a tratar (*.prn): ", fich1$
76 INPUT "ano", vano
77 fich1$ = fich1$ + ".prn"
80 OPEN fich1$ FOR INPUT AS #1
85 INPUT #1, ENCABECADOS$
90 ANOS$ = STR$(vano) + ".dat"
100 REM FFMS$ = "ffm" + ANOS$: OPEN FFMS$ FOR OUTPUT AS #3
110 REM DMC$ = "dmc" + ANOS$: OPEN DMC$ FOR OUTPUT AS #4
120 REM DC$ = "dc" + ANOS$: OPEN DC$ FOR OUTPUT AS #5
130 REM ISIS$ = "isi" + ANOS$: OPEN ISIS$ FOR OUTPUT AS #6
140 REM BUI$ = "bui" + ANOS$: OPEN BUI$ FOR OUTPUT AS #7
150 REM FWI$ = "fwi" + ANOS$: OPEN FWI$ FOR OUTPUT AS #8
160 REM DSR$ = "dsr" + ANOS$: OPEN DSR$ FOR OUTPUT AS #9
170 FOR I = 1 TO 12: READ lmon(I): NEXT I
180 FOR I = 1 TO 12: READ EL(I): NEXT I
190 FOR I = 1 TO 12: READ FL(I): NEXT I
195 IF (vano MOD (4)) = 0 THEN lmon(2) = 29
200 OPEN "CANADA.RES" FOR OUTPUT AS #2
210 M = 1: NDAYS = 1 'mes e dia de inicio
220 FOR J = M TO 12 'Acaba no mes indicado depois de "TO" (ex:7-Julho)
230 NN = lmon(J)
240 IF J = M GOTO 270
250 IDAYS = 1
260 GOTO 280
270 IDAYS = NDAYS
280 IAST = 1
290 FOR I = IDAYS TO NN
300 INPUT #1, T, IH, IW, R, fecha$ 'T-Temp., IH - Hum(%) IW - Vento(Km/h), R-Precipit.
310 W = IW
320 TX = T
330 H = IH
340 RAIN = R
350 IF IAST > 1 GOTO 390
360 '-----
370 REM FINE FUEL MOISTURE CODE

```

```

380 '-----
390 WMO = (147.2 * (101 - FO)) / (59.5 + FO)
400 IF R > .5 GOTO 420
410 GOTO 470
420 RA = R - .5
430 IF WMO > 150 GOTO 460
440 WMO = WMO + 42.5 * RA * EXP(-100 / (251 - WMO)) * (1 - EXP(-6.93 / RA))
450 GOTO 470
460 WMO = (WMO + 42.5 * RA * EXP(-100 / (251 - WMO)) * (1 - EXP(-6.93 / RA))) +
(.0015 * (WMO - 150) ^ 2) * RA ^ .5
470 IF WMO > 250 THEN WMO = 250
480 ED = .942 * (H ^ .679) + (11 * EXP((H - 100) / 10)) + .18 * (21.1 - T) * (1 - 1 / EXP(.115 *
H))
490 IF WMO < ED GOTO 520
500 IF WMO > ED GOTO 560
510 IF WMO >= EW AND WMO <= ED GOTO 540
520 EW = .618 * (H ^ .753) + (10 * EXP((H - 100) / 10)) + .18 * (21.1 - T) * (1 - 1 / EXP(.115
* H))
530 IF WMO < EW GOTO 600
540 WM = WMO
550 GOTO 630
560 Z = .424 * (1 - (H / 100) ^ 1.7) + (.0694 * (W ^ .5)) * (1 - (H / 100) ^ 8)
570 X = Z * (.581 * (EXP(.0365 * T)))
580 WM = ED + (WMO - ED) / 10 ^ X
590 GOTO 630
600 Z = .424 * (1 - ((100 - H) / 100) ^ 1.7) + (.0694 * (W ^ .5)) * (1 - ((100 - H) / 100) ^ 8)
610 X = Z * (.581 * (EXP(.0365 * T)))
620 WM = EW - (EW - WMO) / 10 ^ X
630 FFM = (59.5 * (250 - WM)) / (147.2 + WM)
640 IF FFM > 101 GOTO 670
650 IF FFM < 0 GOTO 690
660 IF FFM >= 0 GOTO 730
670 FFM = 101
680 GOTO 730
690 FFM = 0
700 '-----
710 ' DUFF MOISTURE CODE
720 '-----
730 IF (T + 1.1) >= 0 GOTO 750
740 T = -1.1
750 RK = 1.894 * (T + 1.1) * (100 - H) * (EL(J) * .0001)
760 IF R > 1.5 GOTO 790
770 PR = PO
780 GOTO 920
790 RA = R
800 RW = .92 * RA - 1.27
810 WMI = 20 + 280 / EXP(.023 * PO)
820 IF PO <= 33 GOTO 850
830 IF PO > 33 AND PO <= 65 GOTO 870
840 IF PO > 65 GOTO 890
850 B = 100 / (.5 + .3 * PO)
860 GOTO 900
870 B = 14 - 1.3 * LOG(PO)
880 GOTO 900
890 B = 6.2 * LOG(PO) - 17.2

```

```

900 WMR = WMI + (1000 * RW) / (48.77 + B * RW)
910 PR = 43.43 * (5.6348 - LOG(WMR - 20))
920 IF PR >= 0 GOTO 940
930 PR = 0
940 DMC = PR + RK
950 '-----
960 ' DROUGHT CODE
970 '-----
980 IF (T + 2.8) >= 0 GOTO 1000
990 T = -2.8
1000 PE = (.36 * (T + 2.8) + FL(J)) / 2
1010 IF R <= 2.8 GOTO 1070
1020 RA = R
1030 RW = .83 * RA - 1.27: SMI = 800 * EXP(-DOT / 400): DR = DOT - 400 * LOG(1 +
((3.937 * RW) / SMI))
1040 IF DR > 0 THEN GOTO 1050 ELSE DR = 0
1050 DC = DR + PE
1060 GOTO 1090
1070 DR = DOT
1080 GOTO 1050
1090 IF DC >= 0 GOTO 1140
1100 DC = 0
1110 '-----
1120 ' INITIAL SPREAD INDEX, BUILDUP INDEX, FIRE WEATHER INDEX
1130 '-----
1140 FM = (147.2 * (101 - FFM)) / (59.5 + FFM)
1150 SF = 19.115 * EXP(FM * (-.1386)) * (1 + (FM ^ 5.31) / (4.93E+07))
1160 SI = SF * EXP(.05039 * W)
1170 IF (DMC = 0 AND DC = 0) GOTO 1200
1180 BUI = (.8 * DC * DMC) / (DMC + .4 * DC)
1190 GOTO 1210
1200 BUI = 0
1210 IF BUI >= DMC GOTO 1260
1220 P = (DMC - BUI) / DMC
1230 CC = .92 + (.0114 * DMC) ^ 1.7
1240 BUI = DMC - (CC * P)
1250 IF BUI < 0 THEN BUI = 0
1260 IF BUI > 80 GOTO 1290
1270 BB = .1 * SI * (.626 * BUI ^ .809 + 2)
1280 GOTO 1300
1290 BB = .1 * SI * (1000 / (25 + 108.64 / EXP(.023 * BUI)))
1300 IF (BB - 1) <= 0 GOTO 1340
1310 SL = 2.72 * (.434 * LOG(BB)) ^ .647
1320 FWI = EXP(SL)
1330 GOTO 1350
1340 FWI = BB
1350 DSR = .0272 * FWI ^ 1.77
1360 IW = W + .5
1370 FO = FFM
1380 PO = DMC
1390 DOT = DC
1400 IAST = IAST + 1
1410 PRINT J, " "; I; fecha$, " "; USING " #####.##"; FFM; DMC; DC; SI; BUI; FWI; DSR
1420 PRINT #2, fecha$, USING " #####.##"; FFM; DMC; DC; SI; BUI; FWI; DSR
1430 REM PRINT #3, FFM: PRINT #4, DMC: PRINT #5, DC

```

1440 REM PRINT #6, SI: PRINT #7, BUI: PRINT #8, FWI: PRINT #9, DSR

1450 NEXT I
1460 NEXT J
1470 CLOSE ALL
1480 END

Anexo 21. Definiciones de las abreviaturas usadas

BUI	Índice de combustible disponible
CFFDRS	Sistema de Valoración del Peligro de Incendios Forestales Canadiense
CLIF	Comité de Lucha contra Incendios Forestales
DC	Código de sequía
DGCN	Dirección General de Conservación de la Naturaleza
DMC	Código de humedad del humus
EINFOR	Entrenamiento e Información Forestal
FFMC	Código de humedad de los combustibles finos
FWI	Índice Meteorológico de Incendios Forestales
FWI ´	Índice Meteorológico de Incendios Forestales homogeneizado
FPI	Índice Potencial de Incendios Forestales
ICONA	Instituto Nacional de Conservación de la Naturaleza
IPIF	Índice de Peligro de Incendios Forestales
INM	Instituto Nacional de Meteorología (España)
KBDC	Índice de sequía Keetch-Byram
LATUV	Laboratorio de Teledetección de la Universidad de Valladolid
NFDRS	Sistema de Valoración del peligro de Incendios Forestales
IPIG	Índice de Probabilidad de Ignición
IPIG	Índice de Probabilidad de Ignición
IPIG ´	Índice de Probabilidad de Ignición homogeneizado
ISI	Código de propagación inicial
OMM	Organización Meteorológica Mundial
WMO	Organización Meteorológica Mundial
SENAMHI	Servicio Nacional de meteorología e Hidrología (Perú)
UTC	Tiempo Universal Coordinado