

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1. ANTECEDENTES

El fuego es un elemento de la naturaleza que, a la vez, se puede considerar como una herramienta que se ha venido utilizando en numerosas labores domésticas, agrícolas, ganaderas, industriales y forestales; el ser humano ha convivido con el fuego prácticamente desde sus orígenes, habiéndose constituido en un factor esencial de la mayoría de las civilizaciones. Sin embargo, como todos los elementos de la naturaleza, el fuego puede presentar también aspectos menos positivos. Cuando se genera fuego que no es controlado por el hombre tiene lugar lo que se entiende por incendio y cuando este afecta a la vegetación que cubre los terrenos forestales se produce lo que se conoce como un incendio forestal.

Desafortunadamente, y a pesar de la ya milenaria convivencia con el fuego, no se puede hablar de la existencia de un control sobre los incendios forestales. Mundialmente, los incendios forestales, especialmente durante la época de verano, destruyen extensas superficies vegetales (véase Tabla 1.1). De acuerdo con la oficina estadística de la Comisión Europea (2003), el 95% de tales fenómenos que afectan a la Unión Europea se producen en los países mediterráneos, siendo España uno de los países más afectados. Cabe señalar que Cataluña participa también de este problema (véase Figura 1.1.1 y Figura 1.1.2). Sin embargo, además de esta situación casi endémica de la zona mediterránea, ocurren también grandes incendios forestales en otros continentes; pueden citarse, por ejemplo, los grandes incendios ocurridos en 2003 en California y en Australia, o los que han tenido lugar hace pocos años en Indonesia y en las selvas amazónicas.

Tabla 1.1. Numero de incendios y superficies afectadas en Europa, los Estados Unidos y la Ex--URSS

Año	Europa		USA y Canadá		Ex – URSS	
	Núm. de Incendios	Superficie afectada (ha)	Núm. de Incendios	Superficie afectada (ha)	Núm. de Incendios	Superficie afectada (ha)
1991	56 490	585 774	129 063	2 640 794	23 371	1 145 773
1992	79 058	462 100	185 562	2 152 101	40 498	1 188 270
1993	69 588	488 236	159 041	3 671 216	24 378	1 221 058
1994	77 771	804 814	88 834	7 831 455	31 702	743 632
1995	85 107	435 517	90 692	7 356 500	34 305	500 999
1996	87 580	296 510	102 809	4 330 139	42 936	2 461 978
1997	92 526	364 824	72 364	1 781 310	37 374	1 335 631
1998	120 742	707 920	91 981	5 653 585	33 849	5 367 329
1999	118 263	362 704	182 748	3 997 046	42 715	1 002 331
2000	140 316	928 416	147 187	3 640 388	26 042	1 936 887
2001	106 692	463 186	142 066	2 075 271	26 421	1 262 821

Fuente: UNECE Timber Committee and FAO European Forestry Commission. Suiza.

Las consecuencias de estos incendios pueden ser muy graves: pérdidas de vidas humanas, daños a la vegetación, a la fauna y al suelo. Dados los múltiples sectores que pueden ser afectados de forma directa o indirecta, a corto o a largo plazo, el impacto y los costos económicos son difíciles de evaluar, pero es evidente que los recursos de la zona incendiada

son afectados muy negativamente. Muchos de los efectos son subestimados o ignorados cuando no inciden directamente sobre productos o servicios; ejemplos de ello se encuentran en ámbitos del transporte, comunicación, turismo, diversidad biológica, especies en peligro de extinción, acuíferos, etc. Estos efectos tienen incidencia sobre un periodo de tiempo considerable, dado el tiempo que tarda el bosque en regenerarse. Por otra parte, la pérdida de la cobertura vegetal en amplias zonas favorece los procesos de erosión y, a gran escala, contribuye a la desertización en las zonas áridas.

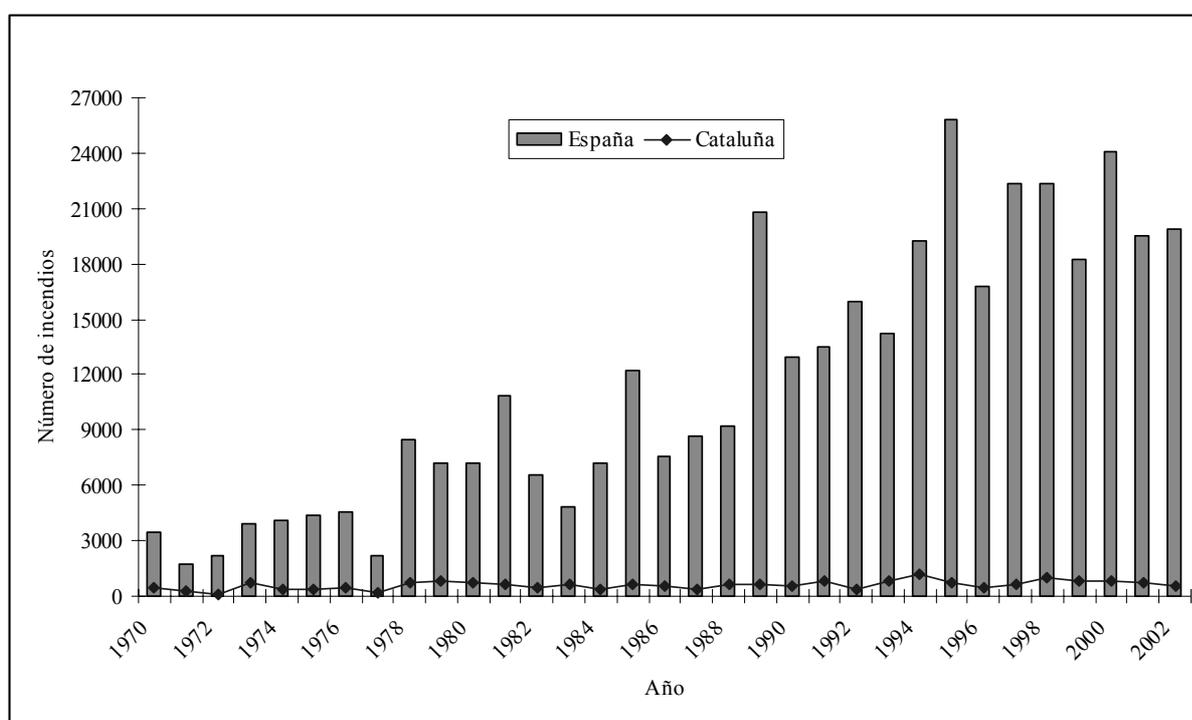


Figura 1.1.1. Número de incendios forestales en España y Cataluña desde 1970. Fuente: Ministerio del Medio Ambiente y Departamento del Medio Ambiente de la Generalitat de Catalunya.

A pesar de que el número de incendios puede ser poco significativo, en la Figura 1.1.2 se muestra cómo desde que se inicia este registro estadístico (1970), en diferentes años, grandes superficies han resultado afectadas (porcentajes superiores al 10 % se han presentado en los años 1970, 1971, 1973, 1976, 1982, 1983, 1986, 1994, 1998).

En la misma Figura (1.1.2) se muestran las estimaciones del Ministerio del Medio Ambiente respecto a las pérdidas económicas para toda España. Puede observarse, pese a la gran variabilidad de la superficie afectada y de la incidencia económica, una cierta tendencia creciente altamente preocupante.

Esta situación pone de manifiesto la necesidad perentoria de implantar medidas para hacer frente a la proliferación de los incendios forestales. Y, efectivamente, se ha llevado a cabo un gran esfuerzo tanto desde el punto de vista preventivo como desde el de la actuación en caso de emergencia, en las últimas décadas. Se ha efectuado una notable inversión, especialmente en Cataluña, disponiendo actualmente de un número considerable de bomberos bien equipados. Asimismo, progresivamente se van implantando medidas tendentes a disminuir la frecuencia de los incendios. Sin embargo, las circunstancias (clima, orografía, ordenación del

territorio) hacen difícil la reducción de la superficie quemada, que continua siendo variable en función de las condiciones existentes.

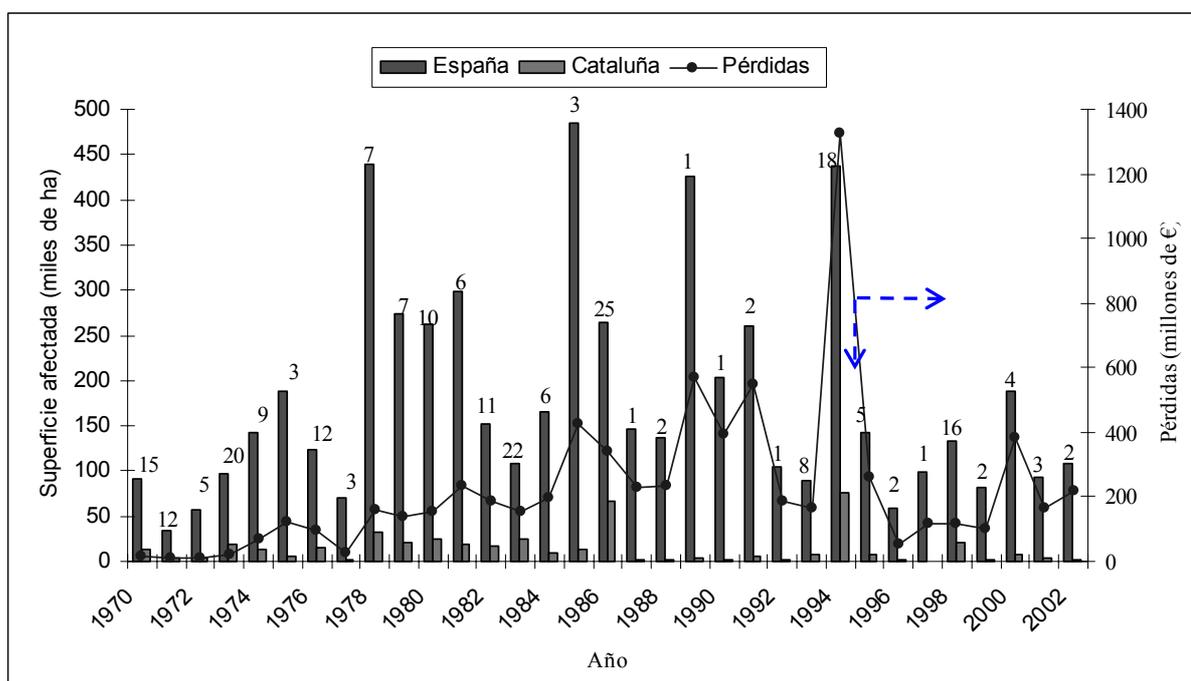


Figura 1.1.2 Superficies afectadas por los incendios forestales en España y Cataluña, con estimación de pérdidas económicas para toda España. Fuente de información: Ministerio del Medio Ambiente y Departament de Medi Ambient de la Generalitat de Catalunya. Nota: El número por encima de la barra (de España) significa el % que representa Cataluña.

Un esfuerzo adicional muy interesante es el que se está llevando a cabo en la investigación de los diversos aspectos relacionados con este tipo de incendios. Si bien el número de investigadores dedicados a este campo ha ido creciendo en los últimos años, su actividad se ha dirigido preferentemente a los aspectos más biológicos del fenómeno y, en algunos casos, ha determinado tratamientos científicos. Sin embargo, algunos aspectos de los incendios forestales admiten un tratamiento ingenieril hasta hoy no aplicado, que sin duda alguna, ha de permitir la obtención de resultados de gran utilidad. Este es pues el objetivo esencial de esta tesis.

1.2. ASPECTOS CIENTÍFICOS Y TECNOLÓGICOS

Un análisis global de los incendios forestales debe tomar en cuenta los numerosos elementos que lo constituyen y que de una u otra forma influyen en él: normativas, usos del suelo, factores sociales y, desde luego, la aportación científico- tecnológica. Es fácil intuir la causa por la cual en la actualidad aun se carece del control de este fenómeno: una gran complejidad que involucra a múltiples factores de difícil previsión.

Esta complejidad pone de manifiesto el interés del estudio científico-tecnológico de los incendios, un campo que comprende muchas disciplinas, tales como la Química, la Termodinámica, la Biología, la Mecánica de Fluidos, la Meteorología y la Transferencia de Calor. Cada una de estas disciplinas se ha ido desarrollando progresivamente y de manera

independiente. Su conjunción y aplicación en el campo de los incendios ha llevado mucho tiempo y por ello “la ciencia del fuego”, comparada con otros campos tecnológicos, se encuentra todavía en un estado de desarrollo.

Es por esto que, aún hoy día, la toma de decisiones durante la prevención o el combate de los incendios, se basa fuertemente en el empirismo, dejando en evidencia carencias o vacíos de conocimiento con respecto a los fundamentos físicos y químicos que explican este tipo de fenómenos o a determinados aspectos ingenieriles.

Dentro de este marco, es evidente la necesidad de la investigación en este campo y especialmente en el apartado de la modelización matemática. Es decir, que para lograr una eficiente prevención de riesgos de incidentes y evitar las pérdidas originadas por los incendios forestales, es necesario todavía un esfuerzo de investigación que reúna las disciplinas involucradas y el estudio de las características físicas y químicas del fenómeno. Es necesario por tanto un esfuerzo en el desarrollo de modelos matemáticos que permitan la predicción y evolución de un incendio, así como sus efectos (radiación térmica). Un trabajo de este tipo tiene que incluir los factores que determinan el comportamiento del mismo (el clima, la meteorología, la topografía, y la vegetación típica de una zona).

Si bien es cierto que se han llevado a cabo numerosos estudios sobre los incendios forestales, una parte importante de los mismos ha sido realizada por botánicos, ecólogos y biólogos. Es decir, se trata de estudios enfocados esencialmente al análisis de los efectos del fuego sobre el bosque (entendido éste como un sistema de especies vegetales), a la recuperación del sistema después de un incendio, etc. Existen también algunos estudios relativos a la modelización del fuego, cuyo objetivo es la obtención de una herramienta de simulación que permita la predicción, en un caso concreto, de la evolución de un incendio en función de las condiciones meteorológicas. Sin embargo, muy pocos de dichos estudios se han realizado desde una perspectiva ingenieril, aplicando las herramientas disponibles en otros campos como por ejemplo el de la seguridad en la industria de proceso o en determinadas instalaciones industriales. Y, sin embargo, en estos campos se han desarrollado metodologías –por ejemplo, en el dominio de los incendios de hidrocarburos- que, sin lugar a dudas pueden – convenientemente modificados y adaptados- contribuir al conocimiento y a la modelización matemática de los incendios forestales.

1.3. PROTECCIÓN CONTRA EL INCENDIO

Como muestran las estadísticas, la ocurrencia de los incendios forestales es una realidad incuestionable, con un importante impacto de pérdidas de bienes y vidas (véase Tabla 1.2). Por otra parte, la influencia de actividades diversas de nuestra sociedad en las zonas boscosas es múltiple: labores agrícolas ó silvícolas, infraestructuras viales (camino, carreteras, autovías), líneas eléctricas, masías aisladas o urbanizaciones, etc. Se trata de actividades o situaciones que de una u otra forma deben desempeñarse o localizarse en zonas cercanas o inmersas en masas forestales y que, por tanto, requieren una planificación y un control adecuado. Como parte de dicha planificación, no debería faltar nunca la prevención ante los riesgos de siniestros y, por supuesto, la consideración de los riesgos de incendios forestales (planes de prevención y protección contra el fuego).

Tabla 1.2. Víctimas (muerte de bomberos) y daños económicos (directos en zonas residenciales) producidos por los incendios forestales en los Estados Unidos.

Periodo	Efecto
1990 - 1998	133 Bomberos muertos mientras realizaban actividades relacionadas con incendios forestales (29 % de casos por quemaduras, 23 % en accidentes aéreos, 19 % durante el transporte en vehículos terrestres, 21 % ataques al corazón, 4 % accidentes por caídas, 4 % diversas causas). Referencia: Mangan (1999)
1993 - 2002	50.266 millones de dólares en pérdidas directas relacionadas con daños en zonas residenciales. Fuente: Nacional Fire Protection Association (U.S. Fire Administration).

Protección pasiva

La protección pasiva consiste en un conjunto de dispositivos, recursos, acciones o medidas que se encuentran disponibles de forma permanente. Su efecto esencial consiste en limitar el desarrollo o crecimiento del incendio. La principal acción de protección pasiva es el aislamiento y la mejora a la resistencia, de forma tal que, en caso de siniestro, la exposición al flujo de energía sólo sea posible hasta un límite permisible. También tiene como objetivo proporcionar rutas de escape y áreas de trabajo seguras para el personal de extinción (bomberos).

Protección activa

Consiste propiamente en las tareas de extinción del incendio. Los principales mecanismos de extinción pueden relacionarse con el triángulo del fuego, donde uno o varios de los lados puede ser atacado (combustible, oxígeno o calor). Para un buen resultado de estas acciones deben emplearse diversos medios debidamente organizados (vehículos autobomba, maquinaria pesada, aviones, helicópteros, brigadas de bomberos). En lo relativo a la investigación, existen importantes esfuerzos con el objetivo de eliminar o retardar la reacción de combustión (Pastor, 2004).

Zonas de seguridad

Dentro de los problemas prácticos que se pueden estudiar mediante la modelización matemática, se encuentran diversos aspectos relacionados con la protección contra el fuego y, concretamente, el establecimiento de las denominadas *zonas de seguridad*.

Por definición, las zonas de seguridad proporcionan zonas de resguardo, en las que los efectos de la radiación térmica no constituyen un peligro. En ellas, las probabilidades de efectos dañinos disminuyen considerablemente aunque los mismos no se eliminan por completo. Es necesario tener siempre presente que en los incendios forestales suceden una serie de fenómenos de difícil predicción, que podrían afectar dramáticamente e invalidar cualquier propuesta que sugiera una distancia con un valor fijo (ejemplo: la emisión de partículas incandescentes en conjunción con el viento). En consecuencia, es necesario advertir de las

restricciones de los métodos o situaciones para las que tienen validez los resultados propuestos en base a determinadas estimaciones o suposiciones.

Actualmente, en la mayoría de publicaciones se proporcionan “pautas” o consejos prácticos en el sentido de impulsar la seguridad y la existencia de zonas de seguridad. Sin embargo, no se ha realizado hasta hoy un estudio riguroso de las diversas variables involucradas, de manera que se puedan proporcionar valores concretos y fiables para los diversos casos. En este campo se encuentra pues actualmente una laguna. Su análisis y el establecimiento de una serie de valores relativos a las distancias de seguridad válidas para diversas circunstancias y situaciones es por tanto una necesidad perentoria. Estos valores tienen que constituir una herramienta muy útil para la toma de decisiones tanto desde el punto de vista de las políticas de prevención como de la actuación en las situaciones de emergencia.

En Cataluña, el Departament de Medi Ambient de la Generalitat ha dictado la normativa que determina 25 metros como zona de seguridad para urbanizaciones (decreto 64/1995). Es evidente que se trata de un valor que puede no ser correcto para cualquier caso (es decir, con validez en todos los casos), dado que las variables son múltiples y sus posibles combinaciones generarán incendios de diversas intensidades, lo que requerirá la aplicación de diferentes distancias.

Existe sin embargo la posibilidad de aplicar conceptos y metodologías propias de la ingeniería industrial (transferencia de calor, mecánica de fluidos, dispersión atmosférica de gases, prevención y análisis de riesgo, etc.), ofreciendo por tanto el respaldo de la experiencia en otro campo, que permita el desarrollo de nuevos enfoques, constituyendo sin duda alguna una aportación muy útil al conocimiento y modelización de los incendios forestales.

1.4. OBJETIVOS

En este marco de referencia, la tesis doctoral propone como objeto de estudio las llamas de un incendio forestal (forma, tamaño, intensidad de radiación, temperatura, etc.), buscando una aplicación práctica y de utilidad concreta. Para ello se basa en la aportación de determinados conocimientos, generados en el campo de la ingeniería industrial. En las instalaciones industriales, para la evaluación del riesgo de la radiación emitida por las llamas de un incendio, se utilizan diversos modelos matemáticos, de complejidad variable (Cowley, 1991), independientemente del escenario del incendio. Sus resultados razonablemente buenos (en las aplicaciones de incendios de hidrocarburos) hacen que algunos de ellos sean especialmente apropiados en situaciones que requieren de exactitud y rapidez de resolución. La posibilidad de seleccionar uno de ellos y adaptarlo al caso de los incendios forestales parece por tanto de gran interés. La predicción del calor de radiación de un incendio proporcionará un valor que podrá ser empleado de formas diversas, es decir, las aplicaciones pueden servir tanto en la determinación de zonas de seguridad (para bomberos, personas y bienes en general) como para detectar puntos de mayor riesgo y, en consecuencia, establecer en que puntos se requieren mayores cantidades de productos extintores, retardantes del proceso de combustión, etc.

El alcance del presente estudio se centra por tanto esencialmente en los aspectos de interés científico- técnico, sin involucrar los factores sociales. El objetivo general es contribuir al cuerpo de conocimientos relativos al comportamiento y características de los incendios

forestales, mediante el estudio de las características físicas y geométricas de la llama en combustibles vegetales.

Los objetivos específicos de la tesis son los siguientes:

- Investigación bibliográfica sobre las características físicas y geométricas de una llama, así como de sus efectos térmicos y de los modelos matemáticos existentes.
- Análisis de los datos encontrados, empleando y comparando los modelos propuestos en las referencias bibliográficas.
- Propuestas de modelización involucrando un modelo previamente seleccionado, con las eventuales adaptaciones.
- Análisis de los resultados de la modelización con propuestas para la aplicación de un problema práctico (zonas de seguridad)
- Establecimiento de zonas de seguridad para la protección de personas y viviendas en diversos escenarios de emergencia.

