



# **ESTUDIO DE PELIGRO DE INCENDIO FORESTAL EN EL PARQUE NATURAL DE ELS PORTS (TARRAGONA)**

Autor: Gonzalo Rodenes Bou

Tutores:

Maria Joaquina Porres de la Haza

Alfonso Fernández Sarría

## **ÍNDICE**

<b>1. Descripción del Problema .....</b>	<b>4</b>
<b>2. Introducción.....</b>	<b>5</b>
Antecedentes .....	5
Marco Legal.....	6
<b>3. Estudios Previos .....</b>	<b>8</b>
Incendios forestales en España. Evolución .....	8
Incendios forestales en Cataluña. Evolución.....	10
Incendios forestales. Causas .....	11
Plan especial de emergencias por incendios forestales de Cataluña (INFOCAT).....	13
<b>4. Factores influyentes en los incendios forestales .....</b>	<b>14</b>
<b>5. Incendios forestales. Efectos .....</b>	<b>16</b>
Efectos sobre la atmósfera.....	18
Efecto sobre la vegetación .....	18
Efecto sobre la fauna.....	19
Efecto sobre el suelo .....	19
Efecto sobre la erosión.....	20
<b>6. Impactos previsibles del cambio climático .....</b>	<b>22</b>
<b>7. Objetivo .....</b>	<b>24</b>
<b>8. Datos de interés .....</b>	<b>25</b>
Ubicación.....	25
Características físicas .....	26
Orografía .....	26
Flora.....	27
Fauna.....	28
Clima.....	29
<b>9. Situación y comportamiento. Incendio .....</b>	<b>30</b>
Situación meteorológica .....	30
Situación del combustible .....	31
Comportamiento y extinción .....	32
<b>10. Datos de Partida .....</b>	<b>34</b>
Imágenes de satélite .....	34
Cartografía.....	38
Vías de comunicación.....	39
Líneas eléctricas .....	39

Puntos de agua.....	39
Hidrología.....	40
Parques de bomberos.....	40
Modelo Digital de Elevaciones.....	40
Corine Land Cover.....	42
Datos meteorológicos.....	42
<b>11. Metodología de trabajo.....</b>	<b>44</b>
Modelos de Peligro de incendio.....	44
Índice canadiense.....	44
Índice estadounidense.....	45
Mapa de Riesgo de Cataluña.....	46
Otros índices.....	47
Modelo propuesto.....	48
Procedimiento.....	51
<b>12. Resultados. Peligro de Ignición.....</b>	<b>59</b>
Núcleos urbanos.....	59
Líneas eléctricas.....	61
Vías de comunicación.....	63
Iluminación.....	66
Temperatura.....	68
Precipitaciones.....	70
Cantidad de vegetación.....	71
Mapa de Peligro de Ignición.....	73
<b>13. Resultados. Peligro de Propagación.....</b>	<b>75</b>
Altitud.....	75
Combustibilidad.....	77
Pendiente.....	80
Orientación.....	82
Parques de bomberos.....	84
Puntos de agua.....	86
Cortafuegos.....	88
Viento.....	93
Humedad atmosférica.....	97
Mapa de Peligro de Propagación.....	98
<b>14. Peligro de Incendio forestal.....</b>	<b>100</b>
<b>15. Análisis de los Resultados.....</b>	<b>102</b>

<b>16. Zona afectada por el incendio .....</b>	<b>103</b>
<b>17. Conclusiones .....</b>	<b>107</b>
<b>18. Referencias Bibliográficas .....</b>	<b>108</b>

## **DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA**

Los incendios forestales constituyen una importante amenaza para nuestros montes, tanto por las pérdidas de superficie forestal y los consiguientes valores ambientales que suponen como por los numerosos daños personales y materiales que ocasionan.

El impacto de los incendios forestales trasciende al ámbito estrictamente ambiental y afecta a otros aspectos fundamentales de la sociedad como son la vida y la seguridad de las personas, las infraestructuras, los núcleos de población y el patrimonio histórico.

El principal problema de los recientes incendios en los países europeos con clima mediterráneo es que los ciclos de ocurrencia se acortan rápidamente en determinados lugares, lo que combinado con otros factores (climáticos, edafológicos, actividad humana...) conduce a situaciones con peligro muy alto de irreversibilidad.

En España se registran cada año más de 20.000 incendios forestales, que afectan a más de 150.000 ha repartidas por toda nuestra geografía. Los incendios son causados por agentes naturales, como son los rayos o erupciones volcánicas, y con mayor frecuencia por agentes artificiales, que son los causados directa o indirectamente por el ser humano. La mayoría de incendios forestales se producen en verano debido a las altas temperaturas y escasas precipitaciones. La probabilidad de que los incendios sean mas importantes aumenta de Oeste a Este y de Norte a Sur. Así pues, es evidente que los incendios forestales son favorecidos por las condiciones climáticas desecantes como son las altas temperaturas, la baja humedad relativa del aire o la escasez de precipitaciones. Con el cambio climático las temperaturas y la sequía del suelo aumentan progresivamente, estos aumentos tienen un efecto directo en la desecación de los combustibles, aumentando así su inflamabilidad.

Los mapas de riesgo de incendios son una herramienta necesaria para prevenir estos accidentes. No obstante, no hay un modelo estándar para la realización de un mapa de riesgo de incendio y, por tanto, cada sistema utiliza las variables que considera más influyentes. La mayoría de técnicas de generación de mapas de riesgo de incendio consideran únicamente el peligro de ignición basándose en agentes causantes humanos (incendios provocados o negligencia) y agentes naturales (temperaturas, lluvias, humedad...) pero no tienen en cuenta el peligro de propagación, que trata de predecir el comportamiento del incendio una vez iniciado.

## **INTRODUCCIÓN**

### **Antecedentes**

En la actualidad, la superficie forestal de España ocupa 26.280.280 hectáreas, equivalentes al 52% de su territorio. Este dato nos sensibiliza con la importancia que tiene su conservación. De la superficie forestal mencionada anteriormente, un 56% es superficie forestal arbolada (14.717.898 ha.) y el 44% restante es superficie forestal desarbolada (11.562.382 ha.).

Los incendios forestales suponen un elemento connatural a los paisajes mediterráneos, desempeñando un importante papel de selección que marcó pautas evolutivas en las comunidades vegetales. Sin embargo, aun cuando los incendios sean un hecho natural, con repercusiones incluso benéficas para el ecosistema forestal, la incontrolada proliferación de los mismos en los últimos años ha contribuido a agravar sus efectos. La acción del fuego no se limita a arrasar la vegetación presente, sino que produce un impacto, a veces irreversible, sobre el suelo. Éste es, precisamente, el principal problema de los recientes incendios en los países europeos de clima mediterráneo.

Los incendios forestales se han convertido en las últimas décadas en uno de los problemas ambientales más importantes del Estado español, y en los próximos años pueden verse agravados por los efectos del cambio climático. A escala mundial, los incendios forestales intencionados para cambiar el uso del suelo, e implantar monocultivos agroindustriales como la soja y la palma aceitera, amenazan con la desaparición del último 20% de los bosques vírgenes del planeta. Con ellos desaparecerá una biodiversidad irrecuperable.

Por todo ello, se debe de considerar éste, como un problema de máxima prioridad para las autoridades competentes y una forma de ayudar a corregirlo es la elaboración de Planes de Prevención de Incendios Forestales.

## **Marco Legal**

Principal bibliografía legal vigente sobre la gestión de emergencias y la prevención de incendios forestales, por orden cronológico:

- Ley de Incendios Forestales (Ley 81/1968, de 5 de diciembre, Comandancia del Estado, publicada en el BOE de 7 de diciembre).
- Reglamento sobre Incendios Forestales (Decreto 3769/1972, de 23 de diciembre, Presidencia del Gobierno, publicado en el BOE de 13 de febrero de 1973).
- Ley 2 / 1985, de 21 de enero, de Protección Civil (BOE, 21/01/85).
- Ley forestal de Cataluña (Ley 6 / 1988, de 30 de marzo, Presidencia de la Generalitat, publicada en el DOGC de 15 de abril y corrección de errores en el DOGC de 19 de octubre).
- Real Decreto 407/1992, de 24 de abril, por el que se aprueba la "Norma Básica de Protección Civil". (BOE, 01/05/92).
- Acuerdo del Consejo de Ministros que aprueba la Directriz básica de planificación de protección civil para emergencia para incendios forestales (Orden de 2 de abril de 1993, Ministerio del Interior, publicada en el BOE de 15 de abril).
- Decreto de medidas de prevención de incendios forestales (Decreto 64/1995, de 7 de marzo, Departamento de Agricultura, Ganadería y Pesca, publicado en el DOGC de 10 de marzo de 1995).
- Decreto 161/1995 de 16 de mayo de aprobación del Plan Territorial de Protección Civil de Cataluña, "PROCICAT" (DOGC 2058 de 2 junio).
- Decreto de medidas de tala periódica y selectiva de vegetación en la zona de influencia de las líneas aéreas de conducción eléctrica para la prevención de incendios forestales y la seguridad de las instalaciones (Decreto 268/1996, de 26 de julio, Departamento de Agricultura, Ganadería y Pesca, publicado en el DOGC de 29 de julio).
- Ley 4 / 1997, de 20 de mayo, de protección civil de Cataluña (DOGC 2401, de 29 de mayo).
- Decreto de medidas de prevención de incendios forestales en las áreas de influencia de carreteras (Decreto 130/1998, de 12 de mayo, Departamento de Agricultura, Ganadería y Pesca, publicado en el DOGC de 9 de junio).
- El contenido de los planes de actuación municipal está regulado por el Decreto 210/1999 por el que se aprueba la estructura del contenido para la elaboración y homologación de los planes de protección civil municipales.

El Plan de Protección Civil de emergencias por incendios forestales en Cataluña (INFOCAT) fue formado por la Comisión de Protección Civil de Cataluña el día 7 de julio de 1994 (acta n. 15), aprobado por el Consejo Ejecutivo de la Generalidad de Cataluña el día 29 de septiembre de 1994 y Homologado por la Comisión Nacional de Protección Civil y publicado en la Resolución de 24 de diciembre de 1994 de la Secretaría de Interior. La versión actual es la primera revisión de dicho plan.

## **ESTUDIOS PREVIOS**

### **Incendios forestales en España. Evolución**

Desde 1961, fecha en la que se inicia la serie anual de datos, el número de incendios se ha incrementado muy significativamente, pasando de una media de 9.515 incendios al año en la década de los años ochenta a 18.141 en los años noventa, y alcanzando ya una media de 20.779 incendios en los seis primeros años de la actual década. De estos datos se desprende que no se están haciendo los esfuerzos necesarios en prevención, sensibilización y educación de la sociedad para disuadirla de provocar incendios forestales.

En cuanto a la superficie quemada, la evolución es más irregular y sufre constantes altibajos, vinculados generalmente a la climatología. A pesar de ello, y tras un incremento espectacular en la década de los años ochenta y primera mitad de los noventa, seguidamente registró una disminución en la superficie afectada. Sin embargo, a partir del año 2000 se observa una tendencia al alza en la superficie quemada, siempre sin llegar a las cifras de décadas pasadas. En el periodo del año 2000 al 2006, la superficie quemada asciende a 994.539 ha., lo que supone el 3,9% de toda la superficie forestal y casi el 2% de la superficie de todo el Estado español.

La distribución territorial de los incendios demuestra que, en contra de lo que cabría esperar por sus características meteorológicas, el territorio más afectado, en cuanto a número de incendios y superficie quemada, no es el arco mediterráneo sino el noroeste peninsular, con un clima atlántico o continental húmedo. Más del 70% de los incendios forestales en España se producen en las comunidades del noroeste peninsular. Concretamente en Galicia se producen más de la mitad, el 53,6% de los incendios españoles, y le siguen Castilla y León con un 10%, y Asturias con un 7,8% de los incendios.

Esta distribución territorial de los incendios pone en evidencia que el elemento esencial de los incendios no es el factor climático, sino la intencionalidad de los mismos.

En las últimas décadas se han realizados numerosos esfuerzos para reducir la cantidad de incendios forestales y la superficie afectada por éstos. No obstante, todos los esfuerzos llevados a cabo en los últimos 50 años, tanto en la prevención como en el control y la extinción de los incendios forestales, han sido en balde ya que no se ha conseguido disminuir, a medida que trascurren los decenios, ni el número de incendios ni la superficie quemada por los mismos, como se puede apreciar en la siguiente tabla.

CUADRO ESTADÍSTICO DEL NUMERO DE INCENDIOS EN EL TERRITORIO NACIONAL, LAS SUPERFICIES AFECTADAS Y LAS PERDIDAS ECONOMICAS OCASIONADAS							
Años	Nº de incendios	Superficie afectada en hectáreas			Perdida en millones de euros		
		Arbolada	Desarbolada	Totales	Productos primarios	beneficios ambientales	Total perdidas
1979	7.222	120.153	153.414	<b>273.567</b>	38,09	101,08	139,17
1980	7.190	92.293	170.724	<b>263.017</b>	40,65	114,14	154,8
1981	10.878	141.631	156.657	<b>298.288</b>	57,96	177,72	235,68
1982	6.545	65.326	87.577	<b>152.903</b>	30,05	155,93	185,98
1983	4.791	50.930	57.170	<b>108.100</b>	23,46	130,06	153,52
1984	7.203	54.491	110.628	<b>165.119</b>	34,76	159,58	194,34
1985	12.238	176.266	308.210	<b>484.476</b>	110,53	313,38	423,91
1986	7.570	113.923	150.964	<b>264.887</b>	86,6	253,07	339,67
1987	8.679	48.993	97.669	<b>146.662</b>	35,79	190,54	226,34
1988	9.247	39.521	98.213	<b>137.734</b>	40,47	191,83	232,3
1989	20.593	182.369	244.199	<b>426.568</b>	214,94	352,79	567,73
1990	12.474	72.755	130.070	<b>202.825</b>	82,29	314,13	396,42
1991	13.530	116.896	143.410	<b>260.306</b>	168,48	377,24	545,71
1992	15.955	40.438	64.840	<b>105.278</b>	53,59	131,46	185,05
1993	14.253	33.421	55.910	<b>89.331</b>	48,54	119,07	167,61
1994	19.263	250.433	187.202	<b>437.635</b>	438,89	886,56	1.325,45
1995	25.828	42.380	101.088	<b>143.468</b>	108,65	150,06	258,71
1996	16.771	10.531	49.283	<b>59.814</b>	29,78	24,42	54,2
1997	22.319	21.326	77.177	<b>98.503</b>	72,23	44,48	116,71
1998	22.445	42.959	90.684	<b>133.643</b>	52,46	65,17	117,64
1999	18.237	24.034	58.183	<b>82.217</b>	58,98	43,25	102,24
2000	24.117	45.358	141.668	<b>187.026</b>	148,36	232,59	380,95
2001	19.547	19.363	73.934	<b>93.297</b>	73,39	92,92	166,31
2002	19.929	25.197	82.267	<b>107.464</b>	99,31	121,18	220,49
2003	18.616	53.673	94.499	<b>148.172</b>	117,36	288,21	405,57
2004	21.396	51.732	82.461	<b>134.193</b>	66,68	292,96	359,64
2005	25.492	69.350	119.322	<b>188.672</b>	126,65	379,05	505,7
2006	16.334	71.083	84.280	<b>155.363</b>	318,89	433,78	752,67
2007	10.932	29.403	56.710	<b>86.113</b>	26,51	201,08	227,59
2008	11.612	7.636	32.258	<b>39.894</b>	-	-	-
2009	13.050	363.46	64.024	<b>100.370</b>	-	-	-

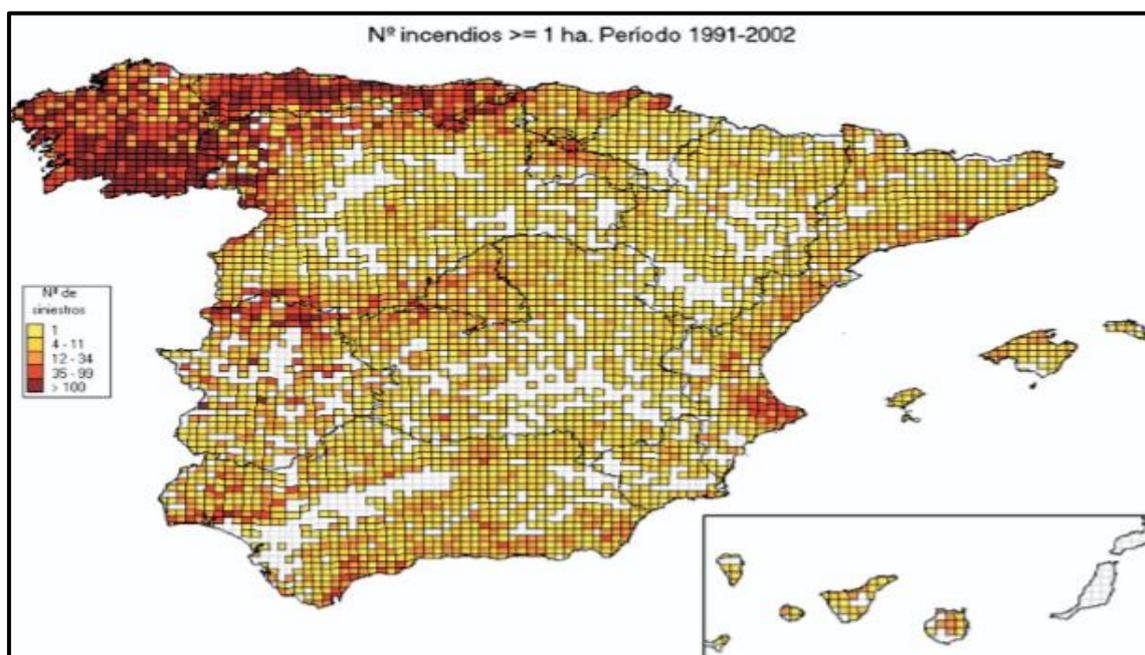


Imagen 1: Distribución de los incendios forestales iguales o mayores de 1 ha en España durante el periodo 1991-2002. Fuente: DGB, MIMAM.

## **Incendios forestales en Cataluña. Evolución**

La superficie considerada como forestal en Cataluña representa más del 60% del territorio. De ésta, la superficie forestal arbolada es de un 43% del total del territorio catalán, mientras que matorrales y pastos suman un 17% aproximadamente. Si a esta gran masa forestal sumamos el clima mediterráneo que la caracteriza mayoritariamente con veranos calurosos y secos, el relieve muy accidentado y la distribución de la población, parece lógico tener como resultado un significativo riesgo de incendios forestales para gran parte del territorio catalán.

Nada ajeno al riesgo de incendios forestales ha sido el progresivo abandono de cultivos y pastos que ha producido un incremento muy importante en las masas de combustible y en su continuidad. Todos estos factores mezclados, han dado lugar a los grandes incendios forestales que Cataluña ha sufrido en los últimos años. Estos incendios se han revelado con un enorme poder de destrucción sobre los bosques. Además, el gran incremento de urbanizaciones ha hecho que la exposición de las personas en los incendios haya ido también en aumento.

En la tabla de la derecha se observa la cantidad de incendios y superficie afectada en los últimos treinta años en la comarca del *Baix Ebre*. Observando la superficie afectada por año, apreciamos que el año más fatídico fue 1995 con 3.458,42 Ha quemadas, seguido del año en el que se produjo el incendio de *Horta de Sant Joan (2012)* con 1.519,77 Ha afectadas.

Tabla 1: Número de incendios y hectáreas quemadas.

Comarca	Any	Incendis	Ha Forestals
BAIX EBRE	1986	11	1.216,10
	1987	7	29,50
	1988	11	21,84
	1989	15	585,87
	1990	12	24,20
	1991	15	161,54
	1992	14	59,00
	1993	10	1.325,51
	1994	22	81,30
	1995	19	3.458,42
	1996	12	4,51
	1997	14	9,78
	1998	23	522,59
	1999	5	109,59
	2000	11	7,58
	2001	4	4,94
	2002	12	17,99
	2003	7	17,28
	2004	8	2,96
	2005	22	118,02
	2006	15	8,76
	2007	14	21,39
	2008	11	6,70
	2009	24	11,30
	2010	16	36,73
	2011	39	16,97
	2012	25	1.519,77
	2013	20	5,89
	2014	18	24,86
	2015	21	49,76

## **Incendios forestales. Causas**

El análisis de las pautas de causalidad de los incendios en nuestro país durante los últimos años constituye un elemento clave para entender los factores que condicionan la ocurrencia de este fenómeno.

En el Estado español los incendios forestales son mayoritariamente producidos por el ser humano, concretamente el 78% de los incendios, aspecto que revela la escasa conciencia de la población sobre el valor económico, social y ecológico de los montes y la importancia de su conservación. Mientras que del 16% se desconoce su causa y el 4% tienen su origen en rayos.

Entre las motivaciones y causas conocidas de los incendios forestales destacan las quemadas agrícolas (31,75%) y las quemadas para obtención de pasto (21,9%). Otros motivos son: pirómanos, personas con alguna alteración patológica (7,58%); incendios reproducidos (3,38%); fumadores (2,65%); relacionados con la caza (2,31%); trabajos forestales (2,20%); motores y máquinas (2,14%). El 19,12% restante se divide entre quemada de basuras y escape de vertederos, hogueras, venganzas, vandalismo, obtención de madera a bajo precio, recalificaciones de terrenos, modificaciones de uso del suelo (de forestal a agrícola), disensiones en la titularidad de los montes, etc.

En el noroeste peninsular (Galicia, Asturias, Cantabria, País Vasco y las provincias de León y Zamora) el 75% de los incendios son intencionados, especialmente para eliminar matorral o monte bajo, obtener pastos para el ganado, o para quemar rastrojos. Esta situación es sumamente grave si tenemos en cuenta que más del 70% de los incendios forestales en el Estado español se producen en dicha área geográfica. En Galicia, el 84% de los incendios son intencionados.

Los incendios ocasionados por rayo son poco frecuentes, aunque en algunas zonas lo son: en la provincia de Teruel más de la mitad de los incendios son causados por rayo, un tercio de la superficie quemada en las comunidades de Valencia, Castilla-La Mancha o Aragón entre los años 1989-1995 lo fue a causa del rayo, el rayo ha sido el causante de buena parte de los incendios mayores de 10000 ha.

Sin embargo, en el área mediterránea el 49% de los incendios son causados por negligencias, el 28% son intencionados, un 9%, son causados por la caída de rayos y un 13% son de causa desconocida.

El 40% de los incendios que se produjeron en Catalunya entre 2010 y 2014 fueron causados por negligencias, según los datos que maneja el *Departament d'Agricultura, Ramaderia, Pesca, Alimentació i Medi Natural*. Además, uno de cada cuatro (25%) fueron intencionados y el 11% accidentales (causados por las vías de ferrocarriles, líneas eléctricas, etc.); del 13% se desconocen los motivos.

En la *Tabla 2* se desglosan las causas de los incendios forestales en Cataluña entre 1994 y 2015, se aprecia que las principales causas de los incendios son, en primer lugar, las negligencias y, en segundo lugar, los incendios premeditados o intencionados.

*Tabla 2: Porcentaje de incendios por causa en Cataluña en el periodo de 1994-2015*

Grup causes	Detall causes	%
CAUSES NATURALS	LLAMP	10,6%
NEGLIGÈNCIES	ABOCADORS	0,8%
	ALTRES NEGLIGÈNCIES	9,9%
	CREMA AGRÍCOLA	13,5%
	CREMA DE MATOLLAR	0,6%
	CREMA DE PASTURES	1,8%
	CREMA DEIXALLES	1,2%
	FOGUERES	3,1%
	FUMADORS	6,6%
	TREBALLS FORESTALS	3,3%
ACCIDENTS	D'ALTRES CAUSES (ACCIDENTS)	0,6%
	FERROCARRIL	0,9%
	LÍNIES ELÈCTRIQUES	5,5%
	MANIOBRES MILITARS	0,2%
	MOTORS I MÀQUINES	3,7%
INTENCIONATS	INTENCIONAT	24,5%
CAUSA DESCONEGUDA	CAUSA DESCONEGUDA	12,3%
REVIFATS	REVIFATS	1,0%

## **Plan especial de emergencias por incendios forestales de Cataluña (INFOCAT)**

El objetivo del Plan INFOCAT es hacer frente a las emergencias por incendios forestales, dentro del ámbito territorial de Cataluña, estableciendo los avisos, la organización y los procedimientos de actuación de los servicios de la Generalitat de Cataluña, de las otras administraciones públicas y de las entidades privadas.

El Plan INFOCAT incluye la cuantificación y localización dentro de todo el territorio de Cataluña, los aspectos fundamentales para el análisis del riesgo, vulnerabilidad, zonificación del territorio y despliegue de medios y recursos y localización de infraestructuras de apoyo para los trabajos de actuación en caso de emergencia.

El alcance territorial del plan el territorio de Cataluña y tiene como funciones básicas:

- Prever la estructura organizativa y los procedimientos para la intervención y coordinación de los diferentes servicios actuantes en emergencias por incendios forestales en Cataluña.
- Prever la plena coordinación con el Plan estatal de protección civil de emergencia por incendios forestales, para garantizar una integración adecuada.
- Concretar los procedimientos de actuación: los diferentes avisos, la intervención, aspectos preventivos, etc. Establecer los sistemas de coordinación con las organizaciones de las diferentes administraciones locales, en su territorio. Determinar los criterios de planificación de los planes de actuación municipal (PAM).
- Establecer el mapa básico de peligro y definir las áreas de acuerdo con las posibles intervenciones y el despliegue de medios y recursos.
- Considerar las épocas de peligro relacionadas con el riesgo de incendios forestales y de acuerdo con la legislación vigente, para poder establecer medidas preventivas.
- Establecer los sistemas organizativos del voluntariado.
- Definir y establecer los procedimientos de información a la población.
- Catalogar los medios y los recursos a emplear en caso de actuación.

## **FACTORES INFLUYENTES EN LOS INCENDIOS FORESTALES**

El clima determina la vegetación dominante en una región y, por tanto, la cantidad y tipos de combustible disponible para propagar el fuego. En general, en España, la vegetación madura compuesta por caducifolios domina en las zonas más lluviosas, mientras que la de perennifolios lo hace en las zonas secas. La intensa utilización de nuestro país hace que la vegetación natural madura no abunde, siendo más frecuente la vegetación natural procedente de la sucesión secundaria o de la reforestación. En muchos casos, la inflamabilidad de esta vegetación secundaria es mayor que la de la vegetación natural madura. Esto es particularmente así en el caso de que la vegetación pioneras esté dominada por especies acumuladoras de combustible fino y necromasa. Durante la última parte del siglo XX, la vegetación dominante ha ido incrementado su potencial combustible como consecuencia de la menor explotación y pastoreo, el abandono de cultivos marginales y la falta de aprovechamiento de leñas. Además, la vegetación que crece tras la quema de algunas plantaciones de coníferas o de frondosas tipo eucalipto es, con frecuencia, altamente inflamable.

Las variables meteorológicas que mayor papel juegan sobre el desarrollo de un incendio son la temperatura, la velocidad del viento, la humedad relativa y la estabilidad de la atmósfera. En los ambientes estables y secos del verano la energía que se recibe del sol aumenta la temperatura lo que hace que disminuya la humedad relativa del aire. Ambas variables (temperatura y humedad relativa del aire) controlan el estado de hidratación de los combustibles muertos. El viento es otro elemento crítico: la velocidad de propagación del frente de llamas es directamente proporcional a la velocidad del viento. Las situaciones de mayor peligro son aquellas que vienen acompañadas de vientos fuertes y secos. Las altas temperaturas y el ambiente seco favorecen la propagación de un incendio, por lo que en verano se deben extremar las precauciones. En periodos de sequía y altas temperaturas el calor excesivo provoca la deshidratación de las plantas y hace descender el nivel de humedad del terreno. Cuando las plantas se secan emiten el etileno presente en su interior, que al tratarse de un compuesto químico altamente inflamable, multiplica el riesgo de incendios en la zona.

La cantidad de humedad presente en los combustibles es un factor con gran influencia en la ocurrencia y propagación de un incendio. El contenido en humedad de los combustibles finos vivos varía a lo largo del año, siendo máximo en primavera y mínimo a finales de verano. El contenido en humedad está relacionado con la fenología y disponibilidad de agua en el suelo, por lo que se relaciona bien con índices de sequía. La humedad de los combustibles vivos se mantiene debido al transporte de agua desde el suelo, de ahí que las hojas vivas y ramas tengan contenidos de humedad

relativamente altos incluso en épocas secas. Sin embargo, el contenido de los combustibles muertos fluctúa ampliamente en respuesta a las variaciones en la humedad relativa del aire, junto con la lluvia, o la radiación solar, entre los tres factores más importantes. La propagación del fuego es muy sensible al combustible ligero muerto, pues es el que más rápidamente se inflama al estar expuesto a un foco calorífico.

Otro factor de importancia en el comportamiento de un incendio es la topografía, la propagación del fuego aumenta con el ángulo que ofrece la superficie al frente de llamas. Por ello, la propagación a favor de pendiente es rápida y peligrosa.

Por otro lado, debido al abandono en verano del pastoreo y de la recogida de leña, ésta se acumula con la vegetación y follaje secos formando materia orgánica o biomasa, que avivaría un incendio en caso de producirse.

Uno de los factores más estrechamente ligados a los incendios actuales es la despoblación de las zonas rurales y el abandono de los espacios forestales, con el consiguiente sobre-envejecimiento de las personas que se quedan a vivir en el campo y una tendencia al abandono de las actividades agrícolas tradicionales.

También influyen el aumento de uso social de las zonas forestales, las políticas inconsistentes de la gestión de la tierra y la declaración de zonas protegidas para la conservación de la naturaleza, así como el crecimiento continuo de zonas de interfaz urbano/forestal de forma masiva y no planificada.

A medida que vayamos avanzando con el trabajo profundizaremos en los factores influyentes en un incendio forestal y analizaremos estos factores para obtener los mapas finales de peligro de ignición y propagación.

## **INCENDIOS FORESTALES. EFECTOS**

La persistencia de los incendios forestales incontrolados, que progresivamente están destruyendo ecosistemas mediterráneos y atlánticos, constituye un serio problema medioambiental, no sólo por las grandes pérdidas económicas que producen debido a la destrucción de las masas forestales, sino también por la degradación que pueden inducir en los suelos; es este efecto es particularmente importante desde el punto de vista de la conservación del suelo, la regeneración de la vegetación y la recuperación del paisaje. Los incendios incontrolados también destruyen la fauna, aumentan el riesgo de erosión, causan la movilidad de material orgánico y de nutrientes del suelo, producen cambios en la calidad del agua y en el régimen hídrico, y aumentan la contaminación del aire. Por consiguiente, los incendios incontrolados afectan a todos los componentes del medio ambiente. Además, muchas zonas son afectadas por estos incendios reiteradamente y, de esta forma, los efectos negativos se acumulan.

Al hablar de los efectos de los incendios, es necesario distinguir entre los efectos inmediatos y directos del fuego (destrucción de plantas y seres vivos, por ejemplo) y los efectos a largo plazo, cuando los efectos a corto plazo son modificados por las variaciones estacionales e intervienen los agentes climáticos; estos últimos efectos pueden conducir a una mayor degradación del suelo, como cuando actúa la erosión, por ejemplo, o, por el contrario, favorecer su regeneración, como cuando interviene la revegetación.

Los efectos ecológicos y biológicos de los incendios forestales incontrolados dependen de las condiciones del área quemada (cantidad y tipo de vegetación, humedad del combustible y del suelo, tipo de suelo, pendiente y microclima) y de la intensidad del fuego, que está condicionada, a su vez, por las condiciones del área afectada.

Las pérdidas que ocasionan los incendios, bien en productos primarios bien en beneficios ambientales, son cuantiosas, pudiendo superar en años particularmente malos los 400 M€ en beneficios directos y los 1000 M€ en los totales (EGIF, DGB, MIMAM). Por otra parte, los costes relacionados con la prevención, extinción y restauración de los daños son también cuantiosos. Si tomamos como ejemplo la Generalitat de Valencia, en la década de los 90 se pasó de invertir 9,34 M€, la mayor parte (77%) en extinción, a 60,77 M€ en 2000 (65% en extinción). Este aumento de casi 7 veces en extinción y de 10 veces en prevención no se corresponde con una disminución equivalente en la superficie quemada. En paralelo a las administraciones regionales, la administración central del estado invierte sumas importantes, siendo el

promedio anual durante la última década de 50 M€, 35% en prevención y 65 % en extinción. Esto indica que la capacidad de controlar la superficie quemada tiene límites, y mayores inversiones no necesariamente suponen una mayor efectividad. En este sentido, las políticas que ponen énfasis en los aspectos preventivos, con planes específicos de prevención por propiedad, como se hace en algunas Comunidades Autónomas, pueden ser más eficaces.

### **Efectos sobre la atmósfera**

Con respecto a la atmósfera, los incendios forestales causan los siguientes efectos:

- Aumentan la contaminación del aire.
- Contribuyen, aunque temporalmente, a aumentar el efecto invernadero debido a las grandes cantidades de dióxido de carbono que se liberan.
- En general, se cree que no tienen influencia sobre el cambio climático global, debido a que las sustancias absorbentes no alcanzan la estratosfera, aunque sobre esto hay cierta controversia.
- Producen variaciones térmicas en la atmósfera

La contaminación se debe a la emisión de un gran número de sustancias en forma de aerosoles y pequeñas partículas, aunque no todos los numerosos productos de la combustión de la vegetación están identificados. Aparte del CO<sub>2</sub> y del vapor de agua, el penacho de humo de los incendios forestales contiene una gran variedad de sustancias: gases como NH<sub>3</sub>, N<sub>2</sub>O, NO y NO<sub>x</sub>, hidrocarburos sólidos, líquidos y gaseosos, aldehídos como formaldehído y acroleína, y ácido fórmico, entre otras. (T. Carballas Fernández)

### **Efecto sobre la vegetación**

El aparente vacío biológico que queda tras un incendio es fugaz. Es frecuente observar una gran actividad biológica posterior y plantas simbiotas con algas tras las primeras lluvias. Además, hay especies vegetales que presentan adaptaciones encaminadas a resistir y propagar el fuego, algunas incluso han desarrollado mecanismos reproductivos y ciclos vitales que dan ventaja a la especie cuando el fuego está presente. (Merche B. Bodí, Artemi Cerdà, Jorge Mataix-Solera y Stefan H. Doerr 2012)

La revegetación de las áreas quemadas, tanto de la vegetación arbórea como del matorral, se produce de forma natural, debido a que las plantas que constituyen estas formaciones tienen mecanismos para regenerarse por sí mismas; sin embargo, el tiempo necesario para que se produzca esta regeneración natural depende del ecosistema afectado y de la intensidad del incendio, y puede tardar entre 1 y 5 años o a veces más, ya que, en general, con el incendio se pierde diversidad biológica y potencial biológico para la revegetación. (T. Carballas Fernández)

### **Efecto sobre la fauna**

La fauna también resulta afectada por los incendios. Numerosos animales mueren durante el incendio porque no consiguen huir del fuego y otros quedan heridos y mueren a lo largo del tiempo. Entre los que sobreviven, la mortalidad generalmente es también elevada debido a la falta de refugio y de alimentos. La alteración de su hábitat causa desequilibrios en la macro fauna de la zona. La meso y micro fauna del suelo resultan particularmente afectadas, dependiendo el daño de la penetración del calentamiento en el suelo y de la intensidad del mismo. Por el contrario, especies que no pueden vivir en zonas cerradas del bosque pueden resultar temporalmente beneficiadas a corto y medio plazo después del incendio, en las primeras fases de la revegetación, durante las cuales las especies herbáceas y los rebrotes pueden servirles de alimento. (T. Carballas Fernández)

### **Efecto sobre el suelo**

El suelo es el componente básico del ecosistema forestal. Su sostenibilidad y recuperación dependen de las funciones y procesos químicos, físicos y biológicos que ocurran debajo de la capa de hojarasca. Tras el fuego, el suelo puede sufrir cambios directos producidos por el calentamiento y la combustión, e indirectos como consecuencia de la situación micro climática después de la pérdida de la cubierta vegetal y recubrimiento de las cenizas. Estos cambios dependerán principalmente de la temperatura alcanzada durante el incendio. Con respecto a la intensidad del incendio, en general se admite que los incendios prescritos de baja intensidad, a corto plazo aumentan el rendimiento del bosque, mientras que los incendios incontrolados pueden destruir la productividad de la zona, influyendo, por lo tanto, en la producción de fibras y alimentos. (Merche B. Bodí, Artemi Cerdà, Jorge Mataix-Solera y Stefan H. Doerr 2012)

## **Efecto sobre la erosión**

La erosión del suelo, es decir, el desprendimiento, arrastre y deposición de sus materiales, es uno de los impactos más negativos para el medio ambiente que pueden desencadenar los incendios forestales, sobre todo los incontrolados de alta intensidad. En condiciones normales, la erosión es controlada por el potencial erosivo de la lluvia, que depende de su impacto directo sobre el suelo. Este impacto, a su vez, está en función de la intensidad de la lluvia y su capacidad para mover las partículas del suelo. Esto depende, básicamente, de la cantidad de lluvia que cae y no se infiltra.

Otros factores son: la erosionabilidad del suelo, que depende de sus propiedades, de la cubierta vegetal y de la topografía. Después de un incendio hay que añadir otro importante factor, la intensidad del incendio, que controla la cubierta vegetal, la profundidad de la capa de cenizas y de la capa repelente al agua, y el impacto sobre la estructura del suelo. El efecto del fuego sobre la erosión está, por lo tanto, muy ligado al efecto sobre el ciclo hidrológico. En una comunidad vegetal, las gotas de lluvia son interceptadas por la vegetación entonces o bien caen sobre el suelo con menor energía o se evaporan desde la vegetación. La lluvia que alcanza el suelo es absorbida por la hojarasca hasta que se satura, lo que depende de la capacidad de retención de agua del terreno, que, a su vez, está estrechamente relacionada con su contenido en materia orgánica, el exceso de agua se infiltra, penetrando hasta los horizontes minerales del suelo. Una vez allí, parte es retenida por las partículas minerales o en los poros capilares finos, por tensión superficial, y otra parte se infiltra hacia abajo (agua de infiltración) a través de los poros gruesos, y puede alcanzar la capa freática. Si la cantidad de agua que llega a la superficie es mayor que la cantidad que se infiltra, el exceso fluye por la superficie, bajo la fuerza de la gravedad, constituyendo la llamada agua de escorrentía. Por otra parte, el agua del suelo se pierde por evaporación desde la superficie y por la transpiración de las plantas, que la toman de las capas más profundas por medio de las raíces. Los incendios forestales afectan a todos estos procesos del ciclo hidrológico.

Cuando la cubierta vegetal es eliminada por el fuego, la intercepción, así como la transpiración, disminuyen, y la evaporación desde el suelo aumenta debido a que su superficie, desprovista de vegetación, queda expuesta a la insolación y al viento. Además, el ennegrecimiento de su superficie por culpa del fuego, contribuye a la evaporación porque hace incrementar la absorción de la radiación y, en consecuencia, la temperatura del suelo aumenta. Por otra parte, al quemarse la hojarasca, se reduce la capacidad de retención de agua del terreno. Además de todos estos efectos, las gotas de lluvia, al golpear directamente contra la superficie desnuda del suelo, producen la interrupción física y dispersión de las partículas más finas, entre ellas las cenizas depositadas sobre su superficie durante el incendio. Estas partículas se infiltran y se introducen en los poros gruesos, obturándolos y reduciendo la porosidad. En consecuencia, la infiltración de agua se reduce, la escorrentía aumenta y también el arrastre de materiales, es decir, la erosión. (T. Carballas Fernández)

## **IMPACTOS PREVISIBLES DEL CAMBIO CLIMÁTICO**

Las tendencias del clima futuro para España indican que la temperatura media aumentará aproximadamente 0,4 °C/década en invierno y de 0,6-0,7 °C/década en verano. El número de días con temperaturas extremas máximas aumentará en verano. Existen evidencias de estas tendencias en algunas zonas de España. La propagación del fuego se ve favorecida durante el día por el incremento térmico y la disminución de la humedad relativa del aire, lo que puede reducir el contenido en humedad de los combustibles muertos, así como el umbral para que entren en ignición, haciendo que un episodio de ignición produzca más fácilmente un incendio. Asimismo, el aumento en las temperaturas de la noche será proporcionalmente mayor que en las del día. En otras palabras, las temperaturas durante la noche tenderán a hacerse comparativamente más altas, con el consiguiente efecto negativo sobre la humectación de los combustibles. Por tanto, asumiendo que el número de fuentes de ignición y la vegetación no varíe, cabe esperar que la inflamabilidad sea mayor, y los incendios más frecuentes y, una vez que eclosionen, se propaguen mejor y alcancen mayor tamaño.

Las tendencias para la precipitación durante el presente siglo no son consistentes entre los distintos modelos, si bien todos coinciden en que la precipitación total anual disminuirá, en particular en la primavera y verano. Los patrones de precipitación determinan el nivel de reservas hídricas del suelo, siendo críticos los periodos de recarga para conferir al suelo mayor estabilidad en su contenido hídrico. Asumiendo que la precipitación total no varíe, su concentración en invierno y la consiguiente falta de días de lluvia en primavera y verano afectará a los combustibles muertos y vivos. Esto, unido al incremento térmico del verano hará que la evapotranspiración potencial aumente. Las lluvias durante la estación de crecimiento determinan ampliamente la abundancia de herbáceas. Las primaveras lluviosas mantienen más humedad superficial en el suelo, y producen un mayor desarrollo de combustibles finos herbáceos, que más tarde se desecarán. El aumento de las temperaturas puede hacer que los meses de desarrollo herbáceo se anticipen a la primavera temprana o al invierno, de ahí que, incluso ante un escenario de disminución de precipitaciones primaverales, el desarrollo de esta vegetación puede ser importante y aportar un elemento de peligrosidad en épocas relativamente tempranas. Esto puede ser más relevante en zonas húmedas que, con el tiempo, pueden ser objeto de mayor sequía estival que, además, puede aparecer más tempranamente. Por otro lado, una menor disponibilidad hídrica en las capas superficiales del suelo hará que los combustibles muertos en el suelo se desequen más tempranamente. Por otro lado, una menor disponibilidad hídrica en las capas superficiales del suelo hará que los combustibles muertos en el suelo se desequen más tempranamente. La disminución de días de lluvia hará que se mantengan secos durante más tiempo. En pinares y ecosistemas con hojarasca bien desarrollada la inflamabilidad y el periodo de susceptibilidad al fuego aumentará.

Por otro lado, La velocidad media del viento tenderá a aumentar. Esta variación será menos acusada en verano que en otras estaciones. Dadas las importantes interacciones locales de este meteoro, no es fácil predecir el impacto de esta variable excepto que, dado su importante papel en la propagación del fuego, es probable que los incendios grandes y las dificultades de extinción aumenten.

Conforme el cambio climático se materialice, los cambios en la vegetación derivados del mismo irán haciéndose patentes. En este sentido, en la medida en que la vegetación más mesofítica, y por tanto, menos inflamable, sea sustituida por otra que lo es más, aumentará el riesgo de incendio en las zonas que así ocurra. Por otro lado, la aridificación de otras zonas podrá reducir la cantidad y continuidad del combustible y, por tanto, disminuir los incendios.

Las predicciones basadas en los GCM indican que la fracción de lluvia convectiva tenderá a aumentar, así como el número de descargas de rayos. Los rayos no sólo serán más abundantes sino que se extenderán más a lo largo del año, ampliando la estación de incendios. Consecuentemente, cabe esperar que el número de incendios producido por rayos aumente con el tiempo. La mayor frecuencia de situaciones con déficit hídrico en el suelo hace suponer que la eficiencia de las descargas en producir un incendio sea mayor. (E. Chuvieco, A. Cruz Treviño, E. García Díez, E. de Luis Calabuig, B. Pérez Ramos, F. Rodríguez Silva, J. San Miguel, R. Vallejo, J.A. Vega, R. Vélez Muñoz, G. Zavala)

## **OBJETIVO**

El objetivo del trabajo es la elaboración de un mapa de peligro de ignición y propagación de un incendio en la zona que se produjo el *incendio de Horta de San Joan* el 20 de julio de 2009. El incendio arrasó 1100 hectáreas del parque natural de *Els Ports* junto al municipio de Horta de San Joan.

Esta zona ha sido elegida ya que podemos obtener datos de antes del incendio, para elaborar el mapa de peligro de incendio, y datos de después del incendio, para comprobar si el mapa obtenido ha sido correcto.

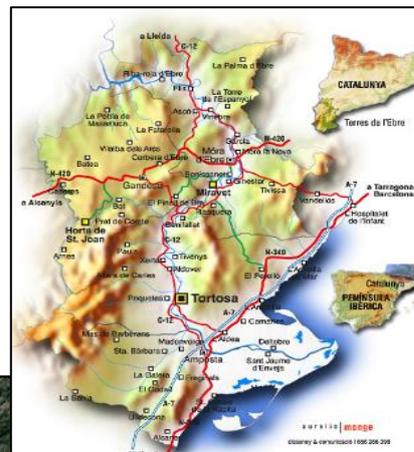
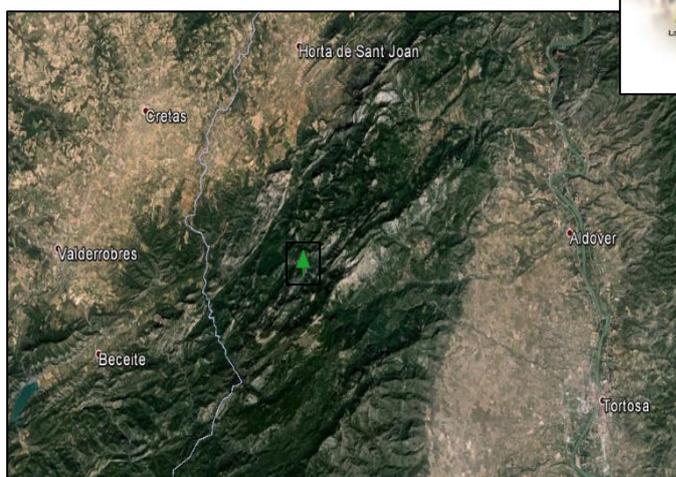
El mapa de peligro de incendio lo elaboraremos a partir de las variables seleccionadas mediante las herramientas de los Sistemas de Información Geográfica (SIG). Para realizar el mapa final de peligro de incendio tomaremos como base el modelo planteado por Salas y Chuvieco, que considera en el cálculo tanto el peligro de ignición como el peligro de propagación. Los datos que se han utilizado son imágenes de satélite, información sobre el terreno y meteorológica y mapas topográficos, más adelante pasaremos a describir cada uno de ellos.

Así pues, obtendremos un mapa final de peligro de incendio que tendrá como objetivo prevenir futuros incendios, señalar las zonas más susceptibles de ser afectadas por un incendio y aportar información sobre la dirección de propagación del incendio, facilitando así las labores de extinción.

## DATOS DE INTERÉS

### Ubicación

El Parque Natural de *Els Ports* se extiende en el área catalana de las montañas dels Ports, un macizo que sobrepasa los límites de las *Terres de l'Ebre* y se adentra en las provincias de Teruel (Aragón) y Castellón (Comunidad Valenciana). Se trata de un Parque Natural que protege parte del macizo de los Puertos de Tortosa-Becete.



El año 2001, con la declaración del Parque Natural de *Els Ports* y la Reserva Natural Parcial de la Fageda del Retaule, se reconocieron los valores naturales de uno de los espacios naturales más significativos de Cataluña y el segundo con más extensión después del Parque Natural del *Cadí Moixaró*.

El parque tiene una extensión de aproximadamente 35.110 ha y se extiende por los municipios de *Tortosa*, *Roquetas*, *Alfara* y *Pauls* en la comarca del *Bajo Ebro*; *Arnes*, *Horta de San Juan* y *Prat de Compte* en la comarca de la *Tierra Alta* y *Mas de Barberans* y *La Cenja* en el comarca del *Montsiá*.

## **Características físicas**

### **Orografía**

*Els Ports* son un macizo de relieve muy complejo, a caballo de la cordillera Prelitoral catalana y el Sistema Ibérico. Está formado por materiales calcáreos del Mesozoico que determinan un relieve abrupto y roto por diversas fallas, con importantes solapamientos. La estructura central es de plegamiento de tipo jurásico, con un eje de dirección noreste y suroeste. Predominan las rocas carbonatadas (calizas y dolomías), que son muy fáciles de erosionar y dan lugar al relieve kárstico que se manifiesta con una gran variedad de formas: barrancos, gubias, cuevas, simas, colmillos, fuentes, sopletes...

El rasgo más distintivo del paisaje de *Els Ports* es su relieve escarpado y abrupto de auténtico macizo, que se alza imponente entre las llanuras agrícolas vecinas. En el interior la orografía es muy compleja. La orientación de la cresta principal define dos vertientes:

- La vertiente oriental o marítima, muy escarpada y rica en acantilados y taludes.
- La vertiente occidental o interior presenta unas formas algo más suaves. Los principales ríos del macizo, *el Matarranya*, *el Ulldemó*, *el Algars* y *els Estrets*, han realizado profundas excavaciones en el terreno.

El macizo presenta montañas destacables por su altura y singularidad, con un 28% de su superficie por encima de los 1.000 m. El pico más alto de todo el macizo es el *Mont Caro*, con 1.441 m.

### *Flora*

Hoy en día es uno de los parques naturales catalanes con una mayor vida salvaje y donde el impacto del hombre menos se deja notar. La despoblación del parque se inició en los años 50 con el abandono de todos los campos agrícolas destinados al pasturaje de los animales, haciendo crecer y florecer nuevos bosques especialmente de pinos, impulsados por las políticas de reforestación de la administración

Analizando toda la extensión del parque encontramos más de 1.000 especies diferentes. La vegetación que predomina es la mediterránea. Encontramos otro tipo de paisaje como eurosiberiano o de borealpinas en puntos concretos condicionados por las altitudes del parque.

En la parte basal, en las solanas y en la vertiente oriental domina la maquia de coscoja y palmito. En la vertiente occidental, de carácter más fresco y continental, el piso basal está ocupado por el encinar continental. En la zona más elevada, la vegetación potencial es el encinar montano. El piso submediterráneo está formado, principalmente, por pinares de pino negral y de pino silvestre con gayuba; y en los lugares más alterados encontramos bojedaes y otras formaciones arbustivas. En los puntos más húmedos de los pisos superiores, al sur del macizo, encontramos hayedos y bosques de tejo, que son comunidades relictas de otras épocas más húmedas y frías.

*Imágenes 2 y 3: Haya (Izquierda) y Pino Laricio (Derecha)*



### **Fauna**

Los poblamientos fáunicos de Els Ports presentan un elevado interés no solo por la abundancia y variedad de especies, sino también por acoger algunos animales endémicos o muy raros para la fauna catalana.

El animal más especial del parque es la *cabra salvaje* que únicamente habita en este lugar. También cabe destacar la presencia del *jabalí*, con una población que ha ido aumentando por la ausencia de depredadores y los profundos cambios socioeconómicos experimentados durante los años sesenta, que han producido una despoblación de amplias zonas rurales.

Otras dos especies animales reciben una protección especial, son la *nutria* y el *gato montés*.

Muchos pájaros encuentran en Els Ports las condiciones de hábitat o de refugio idóneas para vivir y nidificar. Destacan las grandes rapaces sedentarias, como el buitre común, el águila real, el águila perdicera, el azor, el halcón peregrino, el búho real, etc., y nidificantes estivales, como el águila culebrera, el águila calzada, el alimoche, etc.

En el contexto de Catalunya, es el parque más rico en reptiles y anfibios, tan solo aquí se concentran el 50% del total de estas especies que podemos encontrar en todo el territorio catalán. Las especies de reptiles más destacables son la *serpiente verde*, la *serpiente de agua*, el *eslizón* o el *lagarto*.

Los ríos son habitados por *madrillas*, *barbos* o *truchas*.



Imágenes 4,5 y 6: Cabra Hispánica (izquierda), Jabalí (Superior derecha) y Búho Real (Inferior izquierda)

### Clima

El clima es muy variable y con marcados contrastes, cabe destacar la notable diferencia que existe entre ambas vertientes del macizo, y como la altitud y la orientación se convierten en factores de especial relevancia. Rápidamente, se puede pasar de la más absoluta calma, a los vientos huracanados (NW).

La vertiente sureste, de influencia mediterránea, presenta un régimen de temperaturas mucho más suave que la vertiente interior, que soporta unas condiciones más continentales. Con la altitud, el clima se transforma en submediterráneo, hecho que se traduce en un aumento de las precipitaciones y una disminución de la temperatura.

Como en otros aspectos, en cuanto al clima, Els Ports se presenta como una zona con fuertes contrastes. En un instante, se puede pasar de la calma más absoluta, al viento huracanado de NW. También son frecuentes las ráfagas de más de 150 km/h. Cuando sopla el viento de NW se suele ver la *ceja de mistral*, una nube que se alarga sobre todo el macizo. La ceja se forma cuando la humedad que lleva el viento se condensa debido a la bajada de temperatura que experimenta al llegar a las partes altas del macizo. Este fenómeno meteorológico se conoce como *efecto foehn*.

En general, el clima es cálido y templado. La lluvia cae sobre todo en invierno, siendo muy escasa en verano. La temperatura media anual es 14.0 ° C en Horta de Sant Joan. La precipitación es de 540 mm al año. El mes más seco es julio, con 18 mm de lluvia. En octubre, la precipitación alcanza su pico, con un promedio de 66 mm. Julio es el mes más cálido del año, con un promedio de temperatura de 22.7 ° C. Enero es el mes más frío del año con un promedio de temperatura de 6.0 ° C. Hay una diferencia de 48 mm de precipitación entre los meses más secos y los más húmedos. Como se puede apreciar el mes con las características climáticas más alarmantes en lo referente a la ocurrencia de un incendio forestal es el mes de julio, el mes en el que se produjo el incendio de Horta de Sant Joan.

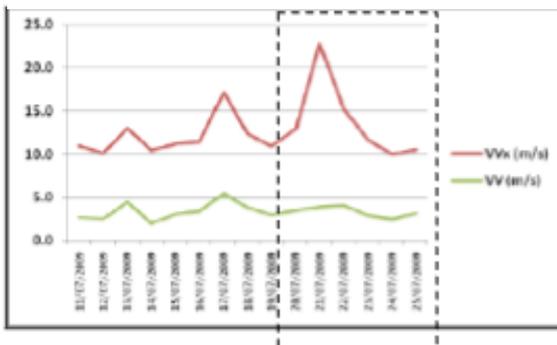
## SITUACIÓN Y COMPORTAMIENTO. INCENDIO

### Situación meteorológica

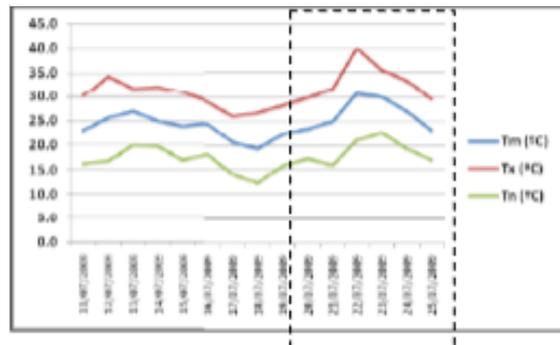
La situación meteorológica en las fechas en las que se produjo el incendio era de altas temperaturas y bajas humedades relativas. A nivel local, se producían cambios de dirección e intensidad de viento acontecidos por la interacción entre la meteorología y la orografía abrupta de la zona. Además, cabe destacar la situación de inestabilidad tormentosa que implicaba rachas de vientos repentinas cuando se formaban y descargaban las tormentas (picos de rachas de más de 65 km/h).

Con los datos diarios recogidos de la estación meteorológica de Horta de San Joan, el Servicio Meteorológico de Cataluña generó las siguientes gráficas que muestran la evolución del viento (*Gráfica 1*), la temperatura (*Gráfica 2*) y la humedad relativa (*Gráfica 3*) del 11 al 25 de julio.

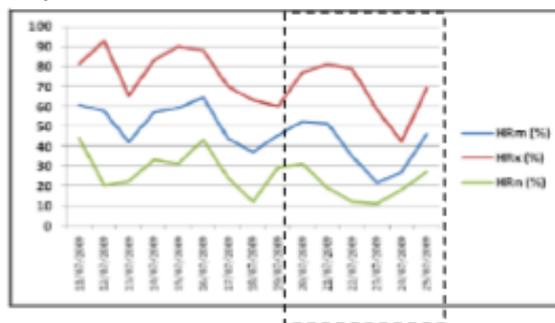
Gráfica 1: Evolución del viento en m/s



Gráfica2: Evolución de la temperatura en °C



Gráfica 3: Evolución de la humedad relativa en %



En las gráficas anteriores se puede observar que el viento y las temperaturas alcanzaron niveles muy elevados en los días del incendio. Las temperaturas durante los días del incendio fueron muy elevadas llegando el 22 de julio a máximas de 40º C.

El día 21 de julio a las 17:47 en la Estación meteorológica de Horta de San Joan se registraron rachas de viento de 22,8m/s en dirección sur y suroeste. Estas rachas de viento son muy poco frecuentes en la zona, analizando los datos del Servicio Meteorológico de Cataluña se observó que desde el año 2002 no se registraba una racha tan fuerte en el mes de Julio en Horta de San Joan.

### **Situación del combustible**

La zona afectada por el incendio presentaba gran variedad de especies vegetales. La disponibilidad de combustible en la zona era muy elevada, ya que la falta de precipitaciones en los meses anteriores había aumentado significativamente la inflamabilidad de la vegetación. Se puede diferenciar entre la vegetación de la primera fase del incendio y la de la fase final:

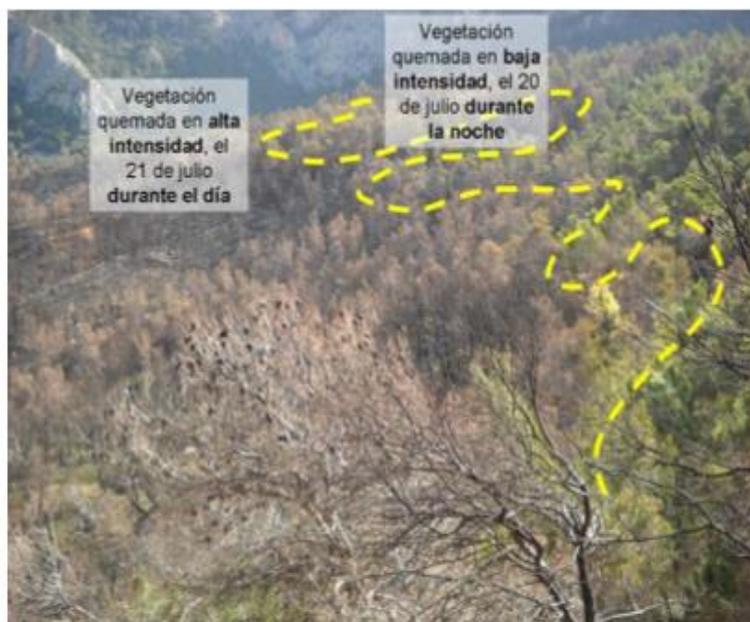
- La vegetación del primer perímetro (21/07/2009): bosque mixto de *pino carrasco*, *pino laricio*, *encina* y *roble*. Las alturas más elevadas se corresponden a los pinos, no obstante, la densidad arbustiva del estrato predominante está básicamente formada por *encinas* y *robles*. Esta estructura complica mucho la penetrabilidad debido al elevado número de retoños de las quercíneas (*encinas*, *robles*, *coscojas*), combinado con el resto de arbustos que conforman el estrato arbustivo (*madroño*, *romero*, *enebro*...). El estrato herbáceo está principalmente compuesto por *Lastón*. Esta tipo y estructura de combustible dificulta las tareas de extinción y permite incendios de elevada intensidad y propagación.
- La vegetación del perímetro final (23/07/2009): en las zonas con elevadas pendientes se encontraban las mismas especies y estructura que en el perímetro anterior, no obstante las llanuras estaban pobladas por cultivos de *olivos*, *almendros*, *viñas*, *cereales* y otros cultivos.

## **Comportamiento y extinción**

El lunes 20 de julio a las 21:04h llegó el aviso de un incendio forestal localizado en el sector N-NO del **Parque natural dels Ports**, en plena situación de entrada de masa de aire del Sahara.

Durante **la noche del 20 al 21 de julio** el incendio avanzó lentamente creando un perímetro de fuegos aislados. A la mañana siguiente, las tareas de extinción iban a buen ritmo, aunque su progresión se veía retardada por la **orografía** del terreno, la **irregularidad** del perímetro, la vegetación **espesa y compacta**, y los problemas en el rendimiento hidráulico en las líneas los medios aéreos (MMAA) se incorporaron para salvar las dificultades que causaba el relieve escarpado.

El día **21 de julio** a las **14:00** el objetivo era cerrar la cola del incendio, durante la noche la cabeza, y centrarse en los dos perímetros exteriores para evitar que se ensanchara el fuego. El contratiempo aconteció a las **14:00**, momento en el que el viento de componente SE previsto aumentó considerablemente en intensidad y turbulencia (picos de 54km/h) causando un aumento significativo en la velocidad de propagación de las llamas. En la *Imagen 7* se aprecian los enormes daños que ocasionó el fuego de alta intensidad propagado durante el día del 21 sobre la cubierta vegetal. La intensidad del viento forzó la retirada de los medios aéreos (MMAA), hecho que junto a la activación de varios puntos calientes complicó el control del perímetro.



*Imagen 7: Impacto del fuego de alta intensidad propagado durante el día (21/07/2009) y del fuego de baja intensidad acontecido por la noche (20/07/2009), sobre la vegetación.*

El fuerte viento empujaba las llamas hacia el NW (**Horta de San Joan**), obligando a la organización operativa a tomar medidas y proteger el casco urbano. Así pues, se trabajó con líneas de agua y MMAA todo el perímetro cercano **Horta de San Joan**.

El **22 de julio** se produce un cambio del viento en dirección NE y el incendio se reaviva por el flanco derecho (**Mas de Andill**). Debido a que el incendio se encuentra junto a las paredes de **els Ports**, se decide trabajar por el flanco izquierdo. Tras trabajar durante todo el día con líneas de agua y apoyo MMAA, el incendio queda confinado al último perímetro. Las tareas de los MMAA junto a las líneas de agua (camiones de bomberos) sobre las partes interiores y exteriores de cada perímetro parcial de cada día junto con el perímetro final permitieron controlar el incendio el día **24 de julio** a las 11h. El incendio se consideró totalmente extinguido el **3 de agosto**.

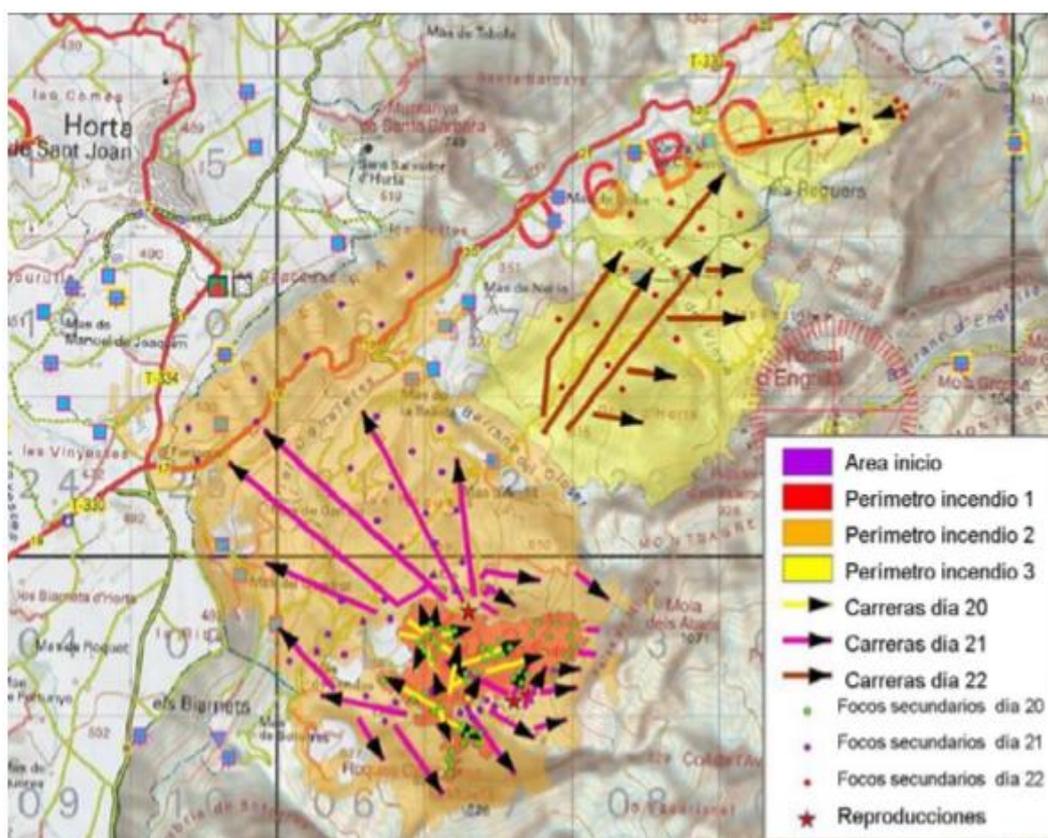


Imagen 8: Esquema del comportamiento del incendio de Horta de Sant Joan durante los días 20, 21 y 22 de julio de 2009. Fuente: Informe interno de Bomberos publicado en la Intranet.

## **DATOS DE PARTIDA**

Los datos de partida utilizados para realizar el mapa final de peligro de incendio provienen de diversas fuentes. Así pues, se han utilizado imágenes de satélite, información sobre el terreno y meteorológica y mapas topográficos.

Las imágenes de satélite provienen del satélite *Landsat 5* con el sensor TM. Por otra parte, la información que se va a utilizar de la cartografía clásica son los núcleos urbanos, las vías de comunicación, las líneas eléctricas, la hidrografía, los parques de bomberos y los embalses.

Además de los datos anteriores, es necesario el uso de un modelo digital de elevaciones, así como datos que aporten información sobre el tipo de vegetación existente. También contaremos con datos climatológicos (temperatura, humedad relativa y velocidad del viento) del día que se produjo el incendio.

### **Imágenes de satélite**

LANDSAT fue el primer satélite enviado por los Estados Unidos para el monitoreo de los recursos terrestres. Actualmente sólo se encuentran activos el LANDSAT 5, 7 y 8, que son administrados por la NASA, en tanto que la producción y comercialización de las imágenes depende del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS).

*Landsat 5* fue un satélite de órbita baja de la Tierra puesto en marcha el 1 de marzo de 1984 para recoger las imágenes de la superficie de la Tierra. Los datos de *Landsat 5* se recogen y se distribuyen desde el Centro de la USGS de Recursos Observación de la Tierra y Ciencia (EROS).

Después de 29 años en el espacio, *Landsat 5* fue dado de baja oficialmente el 5 de junio de 2013. El uso de *Landsat 5* fue obstaculizado por fallas en los equipos, y fue reemplazado en gran medida por el *Landsat 7* y *Landsat 8*. Los científicos prevén que el satélite volverá a entrar en la atmósfera de la Tierra y se desintegrará en el año 2034.

Sus características específicas son:

- El sensor TM es un avanzado sensor de barrido multiespectral, concebido para proporcionar una mayor resolución espacial, mejor discriminación espectral entre los objetos de la superficie terrestre, mayor fidelidad geométrica y mayor precisión radiométrica en relación con el sensor MSS.
- Opera simultáneamente en siete bandas espectrales, siendo tres en el visible, una en el infrarrojo cercano, dos en el infrarrojo medio y una en el infrarrojo termal.
- Tiene una resolución espacial de 30 metros en las bandas del visible e infrarrojo medio y 120 metros en la banda del infrarrojo termal.
- La escena terrestre registrada por este sensor es también de 185 km.

MODO ESPECTRAL	ESPACIAL (metros)	ESPECTRAL (micras)		RADIOMÉTRICA	TEMPORAL
Multiespectral	30	Banda 1 azul:	0.45 - 0.52	8 BITS	16 Días
		Banda 2 verde:	0.52 - 0.60		
		Banda 3 roja:	0.63 - 0.69		
		Banda 4 Infrarrojo cercano1:	0.76 - 0.90		
		Banda 5 Infrarrojo cercano2:	1.55 - 1.75		
		Banda 7 Infrarrojo medio:	2.08 - 2.35		
Termal	120	Banda 6 Infrarrojo térmico:	10.4 - 12.5		

Tabla 3: Características del satélite Landsat 5

A continuación se presenta ampliada la zona en la que se produjo el incendio en las imágenes captadas por el *Landsat 5* de la zona de estudio antes de producirse el incendio (17 de julio de 2009) y después de producirse (2 de agosto de 2009).

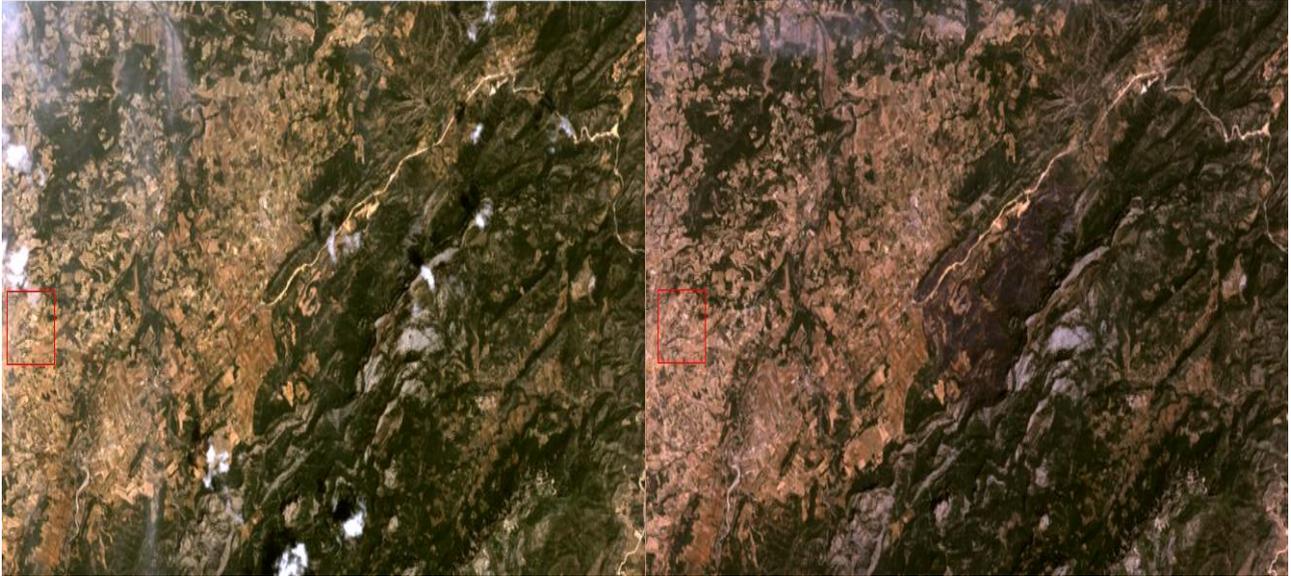


Imagen 9: imagen satélite antes y después del incendio

Las imágenes han sido descargadas de la página del gobierno de los Estados Unidos (<http://earthexplorer.usgs.gov/>).

Para empezar con el tratamiento de las imágenes, observaremos las diferencias existentes entre la imagen anterior y posterior al incendio para posteriormente delimitar la zona de estudio. En la zona central de la segunda imagen (2 de agosto) podemos observar tonos grises y carencia de vegetación, mientras que en la primera imagen (17 de julio) se observa presencia de vegetación.

Para destacar el área quemada por el incendio se ha cargado la Banda 4 para el Rojo, la Banda 3 para el Verde y la Banda 2 para el Azul, dando como resultado la imagen que se aprecia a continuación. El área quemada aparece en la imagen resultante en tonos grises.



*Imagen 10: imagen en la que se aprecia el área quemada en tonos grises.*

A partir de la imagen anterior al incendio obtenemos el NDVI, que nos aporta información sobre el estado de la vegetación justo antes de producirse el incendio.

## **Cartografía**

La cartografía utilizada en el estudio, tomada por el Instituto Geográfico Nacional **IGN**, ha sido obtenida del centro de descargas del Centro Nacional de Información Geográfica **CNIG** (<http://centrodedescargas.cnig.es/CentroDescargas/>).

El **BCN200** (Base Cartográfica Nacional a escala 1:200.000) se trata de una Base de Datos Geográficos (BDG) multipropósito que cubre toda España a una escala 1:200.000 (resolución de 40 metros), cuya información se encuentra almacenada en coordenadas geográficas. Su Sistema Geodésico de Referencia (SGR) es el **ETRS89**. Integra Información Geográfica (IG) de diversas fuentes oficiales.

La actual **BCN200** tiene como características fundamentales ser un SIG continuo, no dividido por hojas, la existencia de una tabla por cada fenómeno geográfico y una geometría explícita (punto, línea y área), que han mejorado enormemente las cualidades de versiones precedente.

Seguidamente se presentan las características de cada uno de los datos de partida utilizados y extraídos del **BCN** de Tarragona para la realización del mapa de peligro de incendio forestal en la zona de estudio.

### Vías de comunicación

Se ha distinguido entre dos grandes grupos de vías de comunicación. En el primer grupo se incluyen las autopistas y autovías, que presentan características de tamaño y seguridad que las diferencian de las demás. El segundo está formado por las carreteras convencionales y pistas.

En el área de interés no discurren ni autopistas ni autovías, por lo tanto, el primer grupo de carreteras no influye en el estudio.

El segundo grupo se ha generado a partir de la unión de los shapefile *L\_CARR\_AUTON*, *L\_PISTA* del *BCN* de Tarragona.

Los campos de la tabla de atributos que requerimos son el nombre de la vía de comunicación, el estado (en uso o no) y la longitud.

En la zona de estudio tampoco discurren líneas de ferrocarril, por lo que tampoco se consideran.

### Líneas eléctricas

Se obtienen mediante el shapefile *LIN\_ELEC* del *BCN200* de Tarragona. La capa ha sido recortada para que se ajuste a los límites de la zona de estudio.

De la tabla de atributos solo requeriremos de la información del tipo de tensión que soporta la línea (alta o baja tensión) y de la longitud.

### Puntos de agua

La capa de embalses obtenida del *BCN* de Tarragona no tiene datos de embalses en la zona de estudio. Por tanto, se ha creado una capa de puntos en *Google Earth* con la ubicación de los embalses del área de interés. La capa ha sido exportada en formato *KML* y convertida a *SHAPEFILE*.

En la capa se sitúan los puntos de agua de los que los medios aéreos obtendrían el agua en caso de producirse un incendio forestal en la zona de estudio.

### **Hidrología**

Se obtiene a partir del shapefile *L\_RIO* del BCN de Tarragona.

Los campos que requerimos de la tabla de atributos son el nombre del río, el régimen (caudal permanente o no) y la longitud.

Los ríos tendrán asignado una mitigación del peligro que será máxima siempre que tengan caudal permanente, cumpliendo la función de cortafuegos. Los ríos cuyo caudal no sea permanente recibirán un nivel medio de mitigación del peligro.

### **Parques de bomberos**

En la cartografía obtenida no hay información sobre parques de bomberos. Por lo que la capa de parques de bomberos se ha creado en Google Earth en formato KML. En las cercanías de la zona de estudio únicamente encontramos un parque de bomberos al sur del límite inferior.

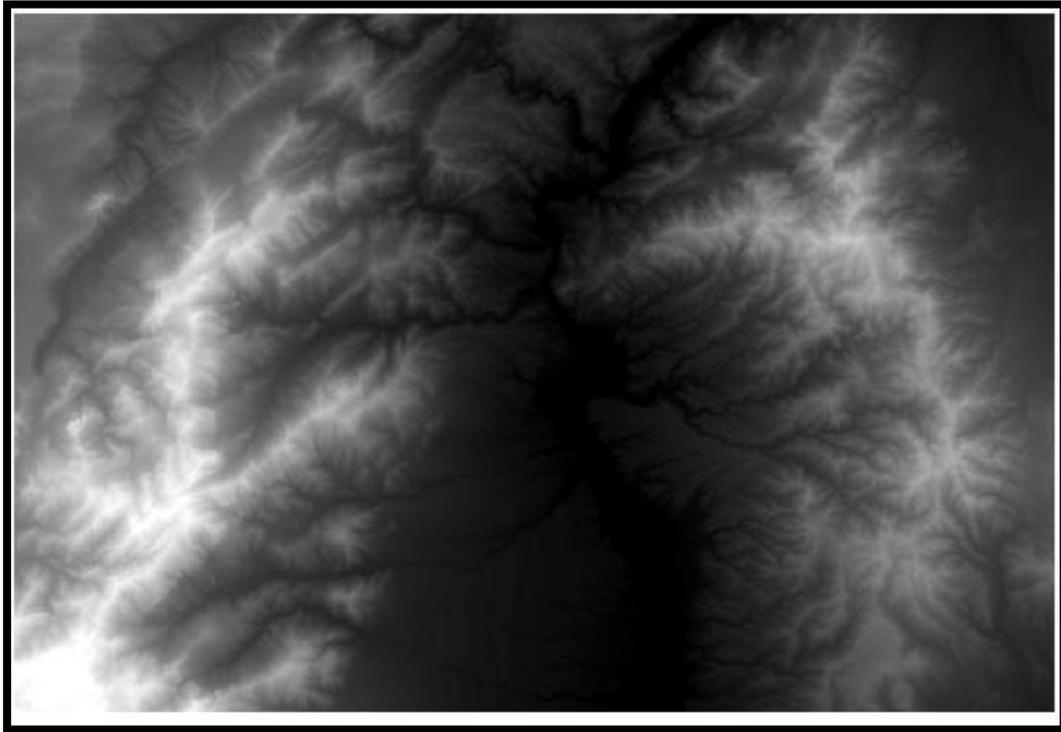
### **Modelo Digital de Elevaciones**

Un modelo digital de elevaciones es una estructura numérica de datos que representa la distribución espacial de la cota del terreno en relación a un sistema de referencia concreto.

Para el presente trabajo se han obtenido modelos digitales del terreno de cuatro hojas distintas para unirlos y, finalmente, recortarlo para que se ajuste a los límites de la zona de estudio. Los modelos digitales de terreno que se han utilizado son los siguientes: *MDT25-0470*, *MDT25-0496*, *MDT25-0497*, *MDT25-0522*.

Los modelos obtenidos tienen un paso de malla de 25 metros, su formato de archivo es ASCII y el sistema geodésico de referencia es ETRS89, proyección UTM huso 30. No obstante, se ha realizado un remuestreo del modelo digital de terreno para que su tamaño de píxel sea de 30 metros al igual que el de todos los demás archivos ráster.

A partir del modelo digital de elevaciones obtendremos el mapa de pendientes, el mapa de orientaciones, el mapa de altitudes y el mapa de iluminación que utilizaremos como variables para realizar el mapa final de peligro de incendio. A continuación se presenta el modelo de elevaciones de la zona de estudio:



### **Corine Land Cover**

El proyecto *Corine Land Cover* desarrolla la creación de una base de datos sobre la cobertura y uso del territorio a escala 1:100.000. Así pues, nos permite conocer el tipo de combustible presente en cada punto del territorio.

Existen otros sistemas que aportan información sobre el tipo de suelo. *Siose* es una base de datos de ocupación del suelo a escala 1:25.000. En el presente estudio se ha optado por utilizar *Corine Land Cover* ya que, pese a presentar una escala mayor, nos aporta información del tipo de suelo de toda el área. Sin embargo, *Siose* presenta numerosas zonas en las que la información del tipo de suelo no está predefinida.

El mapa de ocupación del suelo utilizado es el del año 2006 de Tarragona. Se encuentra en formato shapefile y su sistema geográfico es *ETRS89*, proyección *UTM* huso 30.

### **Datos meteorológicos**

Los datos meteorológicos han sido solicitados a la Agencia Estatal de Meteorología (*AEMET*) para los días próximos al que se produjo el incendio de Horta de San Joan.

Los datos meteorológicos han sido recogidos en las estaciones cercanas a la zona de estudio para disponer de suficientes datos para realizar la interpolación y obtener datos continuos en toda el área de interés. Los datos utilizados para el estudio son la temperatura, la velocidad y dirección del viento, la humedad relativa del aire y las precipitaciones.

Los datos vienen en archivo *.CSV* por lo que es necesario para su tratamiento utilizar Microsoft Office Excel.

Se dispone de datos de humedad relativa para los días 19, 20 y 21 de julio en las horas 0, 7, 13 y 18. En el trabajo se ha utilizado la humedad del 20 de julio a las 13:00 horas ya que es la hora más calurosa de la que se tiene información.

Los datos de precipitaciones que se han obtenido son datos diarios de todo el mes de julio y sus unidades son las décimas de milímetro. En el presente trabajo se han utilizado las precipitaciones acumuladas del mes hasta el día del incendio.

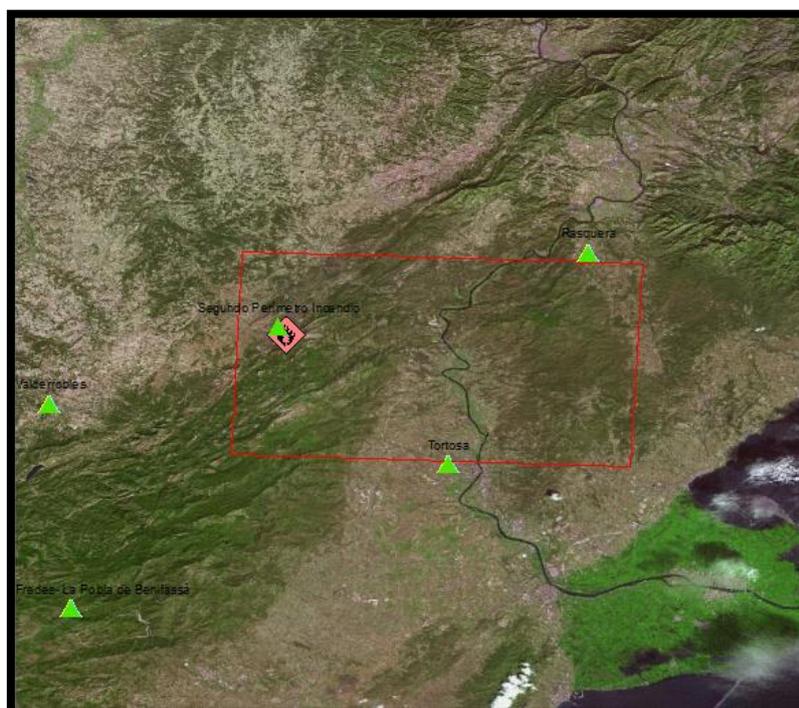
Por otra parte, se dispone de datos de temperaturas máximas diarios de todo el mes de julio. En el trabajo se ha utilizado la temperatura máxima del día que se inició el incendio.

Por último, los datos de velocidad y dirección del viento han sido obtenidos para cada hora de los días 19, 20 y 21. Las unidades de la dirección del viento son grados

sexagesimales y las de la velocidad del viento km/h. Se ha utilizado para el trabajo la racha máxima del día 21 de julio ya que fue el día que se agravó la situación. Además de los observatorios de AEMET se dispone de información de velocidad y dirección del viento del área del segundo perímetro del incendio a las 14:00 horas del 21 de julio. Por lo que se ha añadido un observatorio en dicha zona con los datos correspondientes.

Se solicitó información de seis observatorios, no obstante únicamente recibimos información de cuatro de ellos.

En el mapa siguiente se pueden ver los 5 observatorios de los que se han obtenido los datos alrededor de la zona de estudio.



Las estaciones meteorológicas que se observan en el mapa están situadas en La Poble de Benifassà-Fredes, Valderrobles, Rasquera y Tortosa.

INDICATIVO	AÑO	MES	NOMBRE	ALTITUD	PROVINCIA	LAT.	LONG.
8520X	2009	7	POBLA DE BENIFASSÀ	1168	CASTELLON	40° 41' 37" N	0° 9' 55" E
9935X	2009	7	VALDERROBLES	482	TERUEL	40° 52' 24" N	0° 8' 46" E
9975X	2009	7	RASQUERA	112	TARRAGONA	41° 0' 18" N	0° 36' 49" E
9981A	2009	7	TORTOSA	50	TARRAGONA	40° 49' 13" N	0° 29' 36" E

## **METODOLOGÍA DE TRABAJO**

### **Modelos de Peligro de incendio**

Los índices de peligro son medidas útiles para representar la probabilidad de un incendio en el tiempo y espacio. Entre los índices de peligro de incendio operativos en los distintos países se observa una gran variedad respecto a las variables meteorológicas que utilizan, el tipo de combustible para el que se estima la humedad, así como los objetivos que persiguen.

En unos casos se considera únicamente la fase de ignición, mientras que en los sistemas más avanzados (canadiense y estadounidense) se considera también la fase de propagación.

Los índices de peligro están basados en el clima, pero dado que las personas pueden producir incendios en cualquier momento del año, es posible que se tengan incendios incluso en situaciones en las que el índice de peligro no sea alto. No obstante, dado que el hombre es el principal causante de los incendios, estos pueden darse incluso en momentos del año en los que la peligrosidad general es baja.

#### **Índice canadiense**

Este índice fue desarrollado en 1970 y ha sido actualizado por última vez en 1984. Se trata de un índice que estima el comportamiento del fuego en un combustible estándar (el pino maduro) ya que es el combustible dominante de los montes canadienses. El modelo canadiense, aunque se basa en fundamentos físicos e información de distintas fuentes, se desarrolla a partir del análisis de numerosos datos de campo. Así pues, los índices canadienses se construyeron empíricamente, relacionando de forma conjunta la meteorología, la humedad del combustible y el comportamiento del fuego con datos registrados durante diferentes estaciones de incendios, en una serie de puntos determinados.

En su estimación cobran especial importancia los factores meteorológicos como la humedad, temperatura, velocidad del viento y precipitaciones.

El sistema canadiense trata de evaluar el estado hídrico en combustibles muertos de distinto grosor para incluirlo entre los factores de obtención del índice.

Respecto a la propagación, el índice canadiense hace sus previsiones teniendo en cuenta el viento y la humedad del combustible fino muerto.

### Índice estadounidense

El índice estadounidense también utiliza información meteorológica para determinar el peligro de incendio. El NFDRS proporciona al responsable de la gestión de incendios los recursos necesarios para las labores de prevención (ubicación de áreas de máxima alerta, localización de medios de vigilancia y extinción) y utiliza diariamente los datos de la estación, así como las predicciones del Servicio Meteorológico Nacional, produciendo un índice de peligro en áreas muy amplias.

En la estimación de los índices de peligro de incendio tiene especial importancia la variación estacional en la humedad del combustible, reflejando en sus resultados el efecto de la sequía.

El modelo fue desarrollado para predecir el comportamiento del fuego de superficie, pero no para un tipo de combustible en particular. La descripción del combustible es uno de los factores que se introducen en el modelo. El sistema estadounidense diferencia entre 22 tipos de combustible, mientras que el canadiense realiza sus estimaciones sobre un tipo de combustible estándar (poblaciones adultas de pinos)

El NFDRS tiene como máxima considerar siempre las condiciones más desfavorables. Así pues, las estaciones meteorológicas se encuentran en zonas abiertas, sobre exposiciones sur y las medidas se toman por la tarde (14:00), momento del día en el que el peligro de incendio es más elevado.

El NFDRS dispone de distintos componentes que nos informan del comportamiento del incendio. Estos componentes son los siguientes:

- SC: Integra el efecto del viento, la pendiente y el combustible para predecir el avance del fuego. Los factores que varían diariamente son la velocidad del viento y el contenido de humedad de los combustibles vivos y muertos.
- ERC: Aporta información sobre la energía potencial emitida por unidad de área en el frente del incendio. La variación diaria en este caso se debe a los cambios en la humedad de los combustibles. En este componente no interviene el factor viento.

Mediante la combinación de estos dos componentes se obtiene el índice final (BI) que aporta una valoración de la dificultad de extinción del incendio mediante la estimación de la longitud de la llama e intensidad del frente de avance del fuego. Los valores que aporta este índice ofrecen información sobre las labores de extinción que sería necesario realizar en el caso de producirse el incendio.

### *Mapa de Riesgo de Cataluña*

Una de las herramientas importantes en la lucha contra los incendios forestales en Cataluña es el mapa de riesgo que durante todo el año elabora el Servicio de Prevención de Incendios Forestales (SPIF), del Departamento de Medio Ambiente y Vivienda (DMAH). El mapa hace una previsión de la distribución del riesgo de incendio forestal en Cataluña y se actualiza diariamente. Este mapa se genera agrupando la información que se recoge procedente de las diversas fuentes que ofrecen datos relevantes sobre la evolución del riesgo de incendio forestal. El mapa es la herramienta para dar apoyo a las decisiones que día a día se toman sobre el riesgo de incendio forestal en la Dirección General del Medio Natural, como la activación del plan alfa, la coordinación con las Asociaciones de Defensa Forestal y con bomberos y otras medidas preventivas. Desde hace unos años, el SPIF y el Centre de Recerca Ecològica y Aplicacions Forestals (CREAF) colaboran en la mejora del mapa. Este desarrollo forma parte del proyecto GRINFOMED+MEDIFIRE que ha sido financiado por el Programa Europeo INTERREG 3B MEDOCC. El objetivo del proyecto es crear un sistema de representación del riesgo de incendio forestal que recoja tanto la información y los conocimientos adquiridos a lo largo de los últimos años, como aquellos que se van produciendo de nuevo. Esta mejora se hace en base a la integración de las líneas y metodologías de trabajo que diariamente se utilizan en la confección del mapa, en una herramienta informática modular, abierta y manejable, que se basa principalmente en el SIG-MiraMon. Así mismo, se mejoran las metodologías utilizadas.

Los factores que determinan la evolución del riesgo de incendio forestal se pueden dividir en dos grandes categorías: los estructurales y los coyunturales. Para distinguirlos rápidamente, se podría decir que los primeros son aquéllos que no varían de un día para otro (altitud, orientación, pendiente, usos del suelo, tipo de vegetación), mientras que los segundos sí que varían diariamente o, incluso, de una hora a otra (tiempo meteorológico y estado de la vegetación viva y muerta). El actual mapa de riesgo diario, a la espera de incorporar las nuevas herramientas que aquí se presentan, se determina básicamente siguiendo estos factores coyunturales. La información sobre el estado de la vegetación y de la atmósfera no presenta una resolución temporal y espacial equivalente, siendo ésta una de las principales dificultades a las que tiene que hacer frente el mapa de riesgo actualmente vigente. Con respecto al estado de la vegetación, se obtienen medidas directas del contenido de agua de determinadas especies vegetales consideradas representativas mediante la recogida quincenal de muestras en nueve parcelas fijas. El dato obtenido por este procedimiento tiene la ventaja de cuantificar exactamente el contenido de agua de la vegetación viva, siendo éste una de las variables clave en la evolución del riesgo que se quiere medir. Sin embargo, tiene el enorme inconveniente de un coste temporal muy por encima de la escala diaria que exige el mapa de riesgo y una resolución espacial de difícil extrapolación más allá de los puntos de muestreo. Un índice perceptivo de los Agentes Rurales que valoran el estado general de la vegetación de las comarcas, también quincenalmente, intenta complementar esta información. Las medidas

directas se convierten pues, en una herramienta de confirmación a posteriori, dejando la decisión diaria del riesgo en las medidas indirectas. Las medidas indirectas son los índices meteorológicos de riesgo. Éstos intentan simular, esencialmente, el estado del llamado combustible muerto a partir de la meteorología previa y la presente. Hace falta hacer notar que estos índices no hacen referencia al combustible vivo, aunque como éste también varía siguiendo los mismos factores atmosféricos, al final los índices meteorológicos se consideran buenos indicadores del conjunto. El índice usado en el SPIF es el canadiense (Canadian Forestry Service, 1987), tanto en su versión final del Fire Weather Index, como en sus índices previos, y se calcula a través de la red de estaciones meteorológicas automáticas del Servicio Meteorológico de Cataluña.

### Otros índices

Existen otros índices de peligro como el utilizado en Francia o Italia que basan su cálculo en la estimación del estado del balance hídrico que afecta al combustible. Estos índices evalúan la reserva de agua del suelo, contabilizando las pérdidas debidas a la evapotranspiración de las plantas y los aportes recibidos por las precipitaciones. El cálculo de la reserva de agua del suelo nos indicaría de forma más o menos precisa el estrés hídrico de la vegetación.

El índice utilizado en el sureste francés es también un índice en el que se tiene en cuenta tanto la ignición como la propagación. Se estima el contenido de humedad en dos tipos de combustible: la vegetación viva a partir de la reserva de agua del suelo y la vegetación muerta en función de distintas variables meteorológicas.

El Índice italiano IREPI utiliza la reserva de agua del suelo como estimador del comportamiento diario de la vegetación viva, pero en este caso el índice final sólo ofrece información sobre la ignición. Las características de propagación del fuego se obtienen a posteriori considerando el factor viento.

En España antes de disponer de un índice de peligro propio se experimentó con diferentes métodos utilizados en distintos países. Desde 1987 se encuentra en vigor un índice de peligro diseñado por el ICONA (Probabilidad de Ignición), que se inspira en el método desarrollado por el laboratorio del fuego de Missoula. Se trata de un índice de ignición, en el cual no se tiene en cuenta el estado de la vegetación viva. El índice estima el contenido de humedad de los combustibles ligeros y muertos, situados sobre la superficie del bosque a partir de la temperatura del aire, humedad relativa, exposición, topografía y mes y hora en que se realizan las mediciones. Este índice no considera el efecto de las condiciones meteorológicas pasadas.

### **Modelo propuesto**

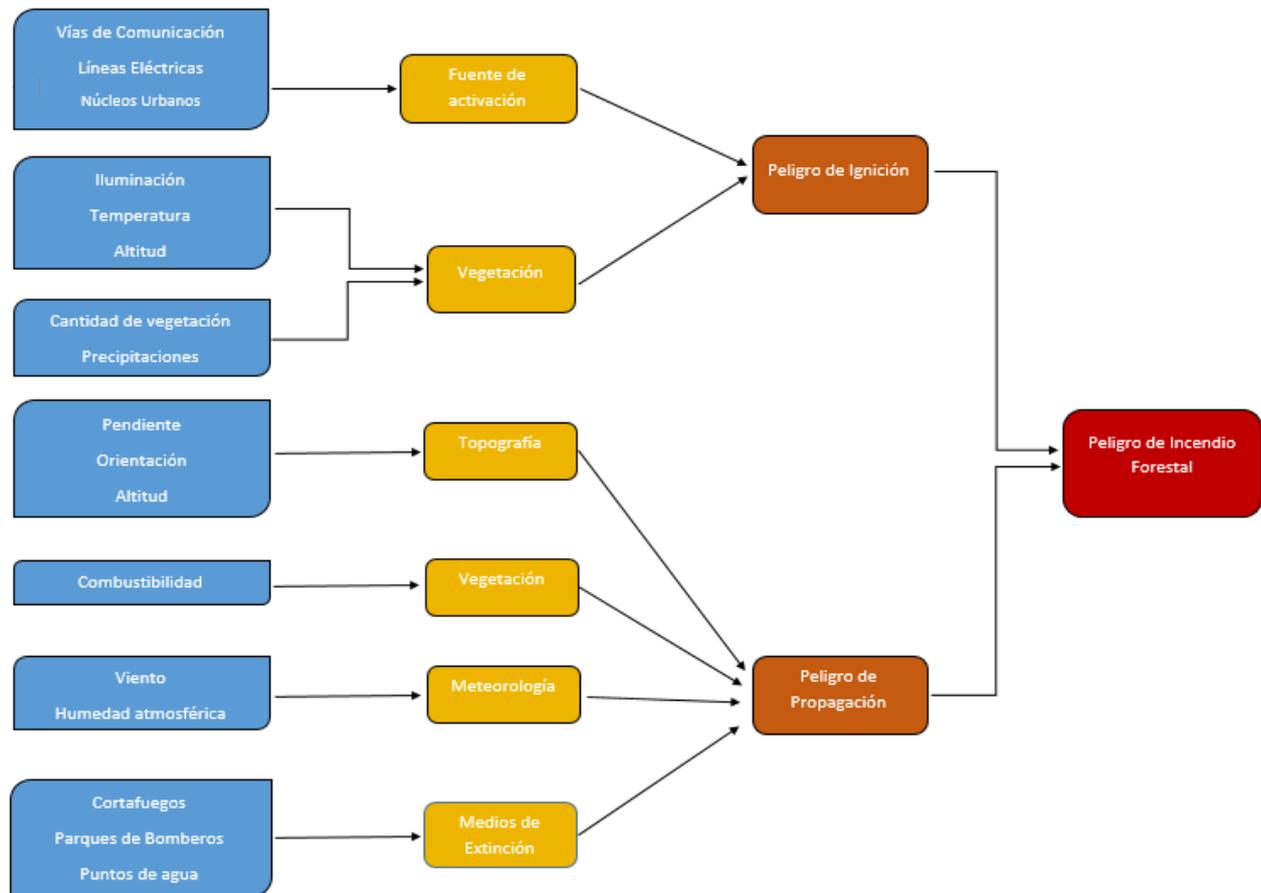
En el presente proyecto se ha decidido utilizar un modelo desarrollado a partir de los conceptos y variables que utilizan los sistemas que hemos descrito anteriormente. Así pues, se optará por introducir en el estudio los principales factores que consideramos intervienen en la peligrosidad que presenta un incendio forestal. El modelo que vamos desarrollar contempla tanto aquellas variables relacionadas con el desencadenamiento del fuego, como las que favorecen o irrumpen en su propagación.

El análisis de la ignición se basa en el estudio de los factores que provocan el desencadenamiento del fuego. Un fuego puede producirse en cualquier lugar de la superficie cubierto por material combustible, aunque es indispensable que haya un agente que lo inicie. Existen agentes naturales, como son los rayos o erupciones volcánicas, y agentes artificiales, que son los causados directa o indirectamente por el ser humano.

Así pues, el riesgo de ignición se refiere únicamente a la probabilidad de que se produzca el incendio, obtenida a partir de los agentes causantes que lo producen y del estudio de la disponibilidad e inflamabilidad de los materiales combustibles presentes sobre la superficie. Por lo tanto, en el análisis del índice de ignición se estudia tanto la posible presencia de factores causantes como las características del material combustible vivo y muerto. Los factores como la iluminación, precipitaciones, temperatura y altitud aunque aparecen en el esquema de la página siguiente de manera que se puede interpretar que se han utilizado para obtener información sobre la vegetación, se han tratado de forma independiente, aunque evidentemente tienen gran influencia sobre las características de la vegetación y se ha tenido en cuenta al asignar los niveles de peligro de cada variable.

Por otro lado, en el análisis del riesgo de propagación el objetivo es predecir el comportamiento del fuego. La velocidad del fuego está estrechamente relacionada con la probabilidad de propagación y la forma de estimarla es mediante el análisis de las características del material combustible (cantidad, humedad, tipo de vegetación...), de las condiciones meteorológicas (velocidad y dirección del viento, fundamentalmente) y de la topografía. También es importante considerar los factores que mitigan el peligro de incendio, tanto cortafuegos, como la cercanía a parques de bomberos o embalses ya que agilizan las labores de extinción. Las elevadas pendientes y las fuertes rachas de viento, además de acelerar el avance del fuego, dificultan considerablemente las tareas de extinción complicando el acceso por tierra y aire, respectivamente.

En el siguiente esquema podemos apreciar la metodología que hemos seguido y las variables utilizadas:



Una vez seleccionadas las variables con las que vamos a realizar el estudio, debemos establecer un criterio para integrarlas de la manera más apropiada. En primer lugar puesto que el objetivo es obtener un índice de riesgo sintético, las variables deben clasificarse según una escala numérica de riesgo. En muchos casos, la formulación de niveles de riesgo supone un cambio en la naturaleza del dato. Así mismo la integración de las variables en un índice único requiere que se pondere cada una de ellas en función de su importancia en la explicación de la ocurrencia del incendio.

Entre las diferentes variables de riesgo, las de carácter humano revisten una problemática específica, de gran importancia en medios mediterráneos, dado que los incendios producidos por causas humanas son los predominantes en ellos. Este tipo de variables son ciertamente complejas de modelar en entorno SIG, por cuanto son muy diversas y difíciles de espacializar.

En nuestro estudio utilizaremos el método cuantitativo, basado en evaluaciones multicriterio u otros métodos de evaluación.

Una aproximación cuantitativa para el análisis de riesgo consiste en la definición de un índice basado en la ponderación selectiva de las variables de riesgo. El nivel de riesgo se corresponde con el valor numérico del índice.

Un ejemplo de este tipo de índice es el propuesto por Salas y Chuvieco (1994)

Peligro de Ignición (PI):

$$PI = 4 * H + 3 * V + 2 * I - E$$

Donde  $H$  representa el factor humano (resultante de la integración de las variables de núcleos urbanos, vías de comunicación y líneas eléctricas),  $V$  la vegetación (obtenida a partir de las variables de temperatura, precipitaciones, cantidad de vegetación),  $I$  el factor de iluminación y  $E$  la altitud.

Peligro de Propagación (PP):

$$PP = 5 * V + 4 * S + 3 * A - E - FB$$

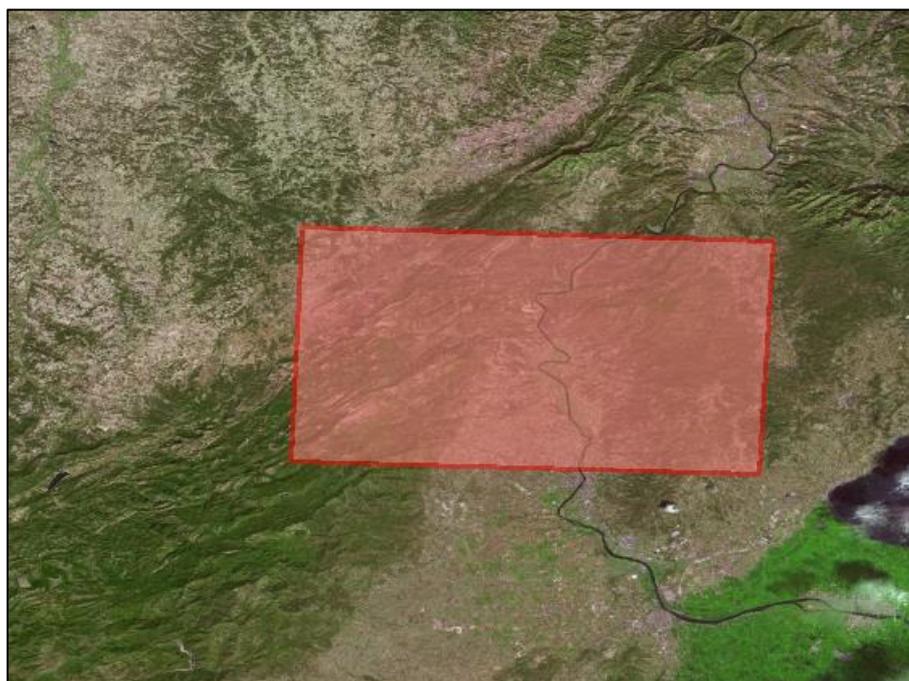
Donde  $V$  indica el tipo de modelo de combustible,  $S$  la pendiente,  $A$  la orientación,  $E$  la altitud y  $FB$  la existencia de cortafuego (resultado de la unión de las capas de vías de comunicación, ríos y cortafuegos), (CHUVIECO, E, MARTIN. 2004).

## **Procedimiento**

El estudio se ha realizado con información de diferente índole y procedencia, por lo que en algunos casos el formato no es el adecuado para realizar el trabajo y se requiere de diversos programas para su manipulación.

Para llevar a cabo la manipulación y tratamiento de los datos será necesario el uso de diversos programas, entre los que cabe destacar ArcGIS, Envi, Microsoft Office Excel y Google Earth, este último lo hemos utilizado para recoger la situación de embalses y parques de bomberos que no aparecían en la cartografía descargada del CNIG.

En primer lugar, se debe de delimitar la zona de trabajo que abarca las dimensiones de un mapa a escala 1/50.000. Se ha optado por incluir en nuestra zona de estudio la mayor cantidad de zona montañosa posible ya que es la más susceptible de ser afectada por un incendio forestal. Así pues, el límite de la zona de estudio lo utilizaremos una vez obtenidos los rásters finales para recortarlos y obtener el mapa de peligro de incendio del área de interés.



*Imagen 11: Límites de la zona de estudio.*

Una vez delimitada la zona de estudio creamos una geodatabase en la que incluiremos todos los datos que vayamos a utilizar en el trabajo. Los datos obtenidos de diversas fuentes presentan un gran volumen de información que en muchos casos no es útil para el estudio. Por ello vamos a extraer únicamente la información de interés de cada capa.

Así pues, crearemos una *Feature Class* para cada capa en nuestra geodatabase y especificaremos los campos de interés para posteriormente cargar mediante “*Load Data*” los campos necesarios de los shapefile que hemos descargado del CNIG.

Antes de comenzar a utilizar los datos para el estudio se debe tener en cuenta que todos los datos deben estar en el mismo sistema de referencia. El sistema de referencia que se ha utilizado es la proyección ETRS\_1989\_UTM\_Zone\_30, no obstante algunos datos como las imágenes Landsat han sido obtenidos en el sistema de referencia WGS 1984.

Para la transformación al sistema de referencia ETRS\_1989\_UTM\_Zone\_30 de los datos obtenidos en otro sistema se ha utilizado se ha utilizado la herramienta “Herramientas Administración de Datos / Proyecciones y Translaciones / Definir Proyección”.

Por otro lado, se debe realizar un remuestreo para que todos los archivos ráster tengan un tamaño de pixel de 30x30. El MDE ha sido obtenido con un tamaño de pixel de 25 metros, por tanto requiere que se realice un remuestreo.

Se ha utilizado la herramienta “Herramientas de Análisis de datos / Ráster / Procesamiento de Ráster / Remuestrear” para que todos los ficheros ráster presenten el mismo tamaño de pixel.

○ Imágenes de satélite

En las imágenes de satélite cada cubierta tiene un rango determinado de ND en cada banda. No obstante, en zonas montañosas el rango de ND aumenta, ya que no depende únicamente de la cubierta, sino también de su orientación al sol. En las laderas orientadas al sol los ND aumentan, mientras que en las no orientadas al sol los ND disminuyen.

Así pues, en zonas montañosas, previamente a la clasificación, se debe realizar una corrección topográfica de la imagen homogenizando el valor de ND entre las zonas más y menos iluminadas.

Para realizar la corrección topográfica es necesario conocer la fecha y hora de toma de la imagen de satélite, la altura del sol y el azimut solar. Esta información viene en el archivo de metadatos asociado a cada imagen descargada de <http://earthexplorer.usgs.gov>.

El primer paso que debemos realizar para eliminar el efecto de la topografía sobre la imagen *Landsat* es calcular el valor de iluminación para cada píxel de la imagen como consecuencia del efecto topográfico:

$$IL = \cos \gamma_i = \cos \theta_i \cos \theta_p + \sin \theta_i \sin \theta_p \cos(\varphi_a - \varphi_o)$$

donde el ángulo de insolación ( $\gamma_i$ ) nos sirve para valorar el efecto de iluminación (IL) en la vertiente,  $\theta_i$  indica el ángulo cenital solar,  $\theta_p$  la pendiente del terreno,  $\varphi_a$  el ángulo acimutal solar y  $\varphi_o$  el ángulo de orientación de la vertiente. Estos cuatro ángulos son los obtenidos del MDE y de la fecha y hora de adquisición de la imagen.

Para finalizar se aplica la corrección por iluminación a cada banda de la imagen original según la ecuación:

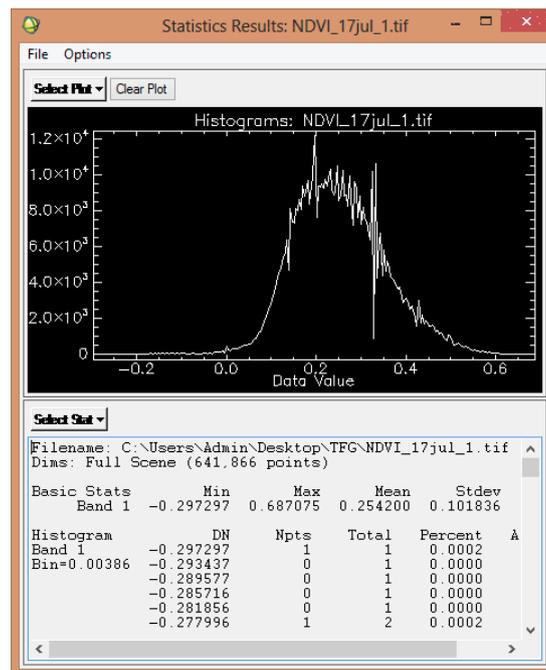
$$ND'_{i,j} = ND_{i,j} + (ND_{i,j} * (IL_x - IL_{i,j}) / IL_x)$$

donde  $ND'_{i,j}$  y  $ND_{i,j}$  indican los ND de salida y entrada, respectivamente, para los píxeles  $i,j$ ;  $IL_x$  la media de la imagen de iluminación para toda la imagen, y  $IL_{i,j}$  el valor de iluminación para el píxel  $i,j$ .

○ NDVI

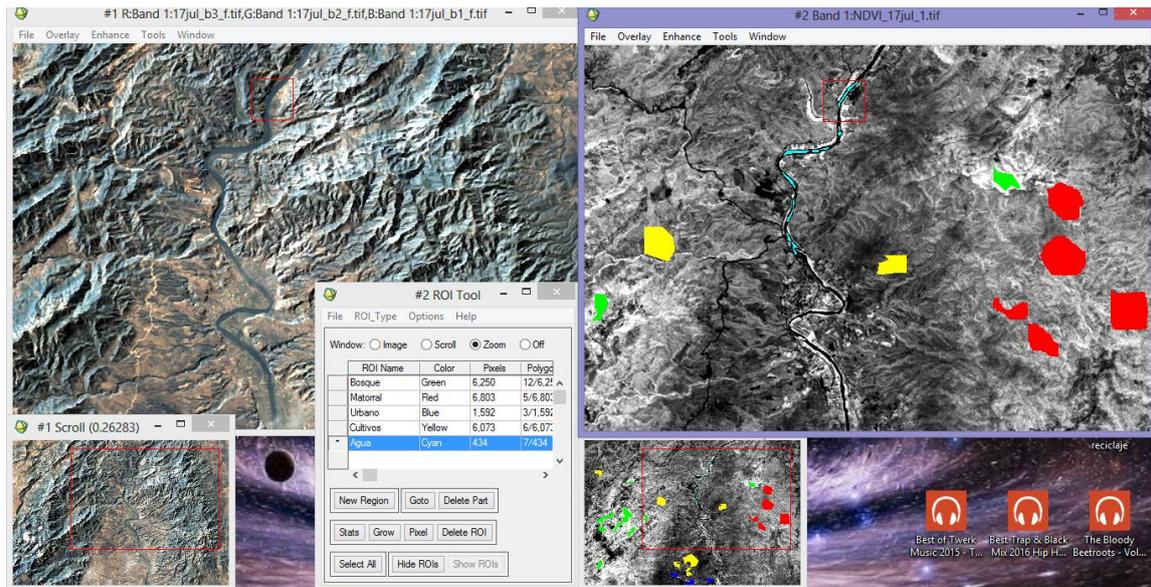
El índice de vegetación de diferencia normalizada se obtiene a partir de la imagen de satélite de antes del incendio, de esta manera obtendremos información sobre la cantidad de vegetación presente en la zona justo antes del incendio.

Así pues, calculamos en índice de vegetación normalizada en Envi mediante la herramienta de cálculo de NDVI. A continuación se presentan las estadísticas básicas y el histograma del NDVI obtenido.



Una vez obtenido el NDVI debemos reclasificar cada intervalo de valores asociándole un peligro de incendio. Para ello, se ha estudiado el rango de valores del NDVI para cada tipo de cobertura mediante la realización de ROIS. Así pues, se han realizado ROIS sobre zonas cubiertas por matorrales, bosques, cultivos, agua y zonas urbanas como se aprecia en la siguiente captura.

## Estudio de Peligro de Incendio Forestal en el Parque Natural de Els Ports (Tarragona)



Dada la complicación de visualizar sobre la imagen de satélite el tipo de cobertura se ha utilizado la información de tipo de cobertura de Corine Land Cover. Básicamente se ha reclasificado el ráster de Corine Land Cover para crear un ráster para cada cobertura de las comentadas anteriormente donde se almacenan con valor 1 las áreas que presentan el tipo de cobertura que queremos identificar y con valor 0 las restantes.

Una vez conocemos los intervalos de valores que caracterizan a cada tipo de cobertura asignamos un peligro de incendio a cada intervalo del NDVI.

○ Cartografía

Debido a que las herramientas utilizadas y los pasos seguidos para cada capa son casi idénticos explicaremos la metodología seguida para las vías de comunicación.

Se ha considerado distinguir entre dos grandes grupos de carreteras, el primer grupo es el formado por las autopistas y autovías, y el segundo por el resto de vías. Debido a que por la zona de estudio no discurren autopistas, autovías ni carreteras nacionales únicamente disponemos de carreteras del segundo grupo. Así pues, se ha agrupado la capa de carreteras autonómicas y la capa de pistas mediante la herramienta "Herramientas de Análisis de datos / General / Fusionar".

Seguidamente, para reducir el número de campos y quedarnos únicamente con aquellos que sean de interés crearemos una Feature Class lineal dentro de la Geodatabase especificando los campos que consideremos importantes y el tipo de dato de cada uno. A continuación, exportamos los datos de la capa de carreteras a la nueva Feature Class creada. De esta manera ya disponemos de la información de interés y podemos empezar a trabajar con la capa de Vías de Comunicación.

Para empezar realizaremos áreas de peligrosidad creando Buffers a las distancias que se han considerado. Utilizamos la herramienta "Herramientas de Análisis / Proximidad / Zona de influencia en anillos Múltiples" para crear áreas con diferentes niveles de peligrosidad alrededor de las Vías de Comunicación.

Una vez obtenidas las zonas de influencia debemos pasarlas de vectorial a ráster, especificando el tamaño de celda de 30 metros, para poder asignarle a las zonas de influencia los niveles de peligrosidad.

El siguiente paso es establecer los niveles de peligrosidad a cada área de influencia. El intervalo de niveles de peligro que se ha considerado es de 1 a 5, siendo 1 un nivel de peligro muy bajo y 5 un nivel de peligro muy alto. Así pues, utilizamos la herramienta "Herramientas de Spatial Analyst / Reclasificar / Reclasificar" dando valor 0 al NoData.

Los pasos descritos anteriormente serán realizados también para las capas de Núcleos Urbanos, Líneas Eléctricas, Parques de Bomberos y Embalses.

- Derivados del MDE

Los variables obtenidas del MDE son de tipo ráster, todos ellos deben de tener un tamaño de celda de 30 metros y estar en la proyección ETRS 89, Huso 30.

Así mismo, utilizaremos una serie de herramientas de ARCMAP para obtener los distintos mapas o variables para el estudio.

Para la variable orientación utilizamos la herramienta "Herramientas de Spatial Analyst / Superficie / Orientación" resultando un ráster en el que se almacena en cada celda el valor de orientación de 0 a 360 medidos desde el Norte en el sentido de las agujas del reloj. Se almacenan con valor -1 aquellas celdas que no tienen pendiente.

Por otra parte, para la variable pendiente utilizamos la herramienta "Herramientas de Spatial Analyst / Superficie / Pendiente" obteniendo como resultado un ráster donde se almacena en cada celda su valor de pendiente.

La variable iluminación crea un relieve sombreado a partir de un ráster de superficie teniendo en cuenta el ángulo de la fuente de iluminación y las sombras, para ello utilizamos la herramienta "Herramientas de Spatial Analyst / Superficie / Sombreado". El archivo ráster resultante almacena un intervalo de valores de 0 a 255, siendo 255 el valor de máxima iluminación.

Por último la variable altitud no requiere de la utilización de ninguna herramienta, ya que el propio MDE almacena en cada celda la altitud.

Una vez disponemos de todas las variables obtenidas del MDE debemos reclasificar para que los ráster almacenen los valores de peligrosidad según la pendiente, iluminación, orientación o altitud. Para ello utilizamos la herramienta "Herramientas de Spatial Analyst / Reclasificar / Reclasificar".

- Puntos de agua y Parques de bomberos

Los puntos de agua o embalses al igual que los Parques de Bomberos han sido obtenidos de Google Earth, en formato KML, ya que el BCN de Tarragona no contenía información de embalses ni de parques de bomberos en la zona de estudio.

Así pues, una vez identificados se debe transformar el fichero KML a entidad mediante la herramienta "Herramientas de Conversión / Desde KML / De KML a capa". Una vez obtenidas las capas realizaremos los pasos descritos en el apartado de cartografía para obtener las áreas de mitigación del peligro. El intervalo de mitigación de peligro es de 1 a 5, no obstante en el caso de las variables que mitigan el peligro el valor 5 se asocia con el valor de mitigación del peligro máxima.

○ Combustibilidad

Para determinar el tipo de vegetación presente en cada zona del área de estudio se ha utilizado el *CORINE LAND COVER* de Tarragona y se ha recortado para que se ajuste a los límites de nuestra zona.

El *CORINE LAND COVER* contiene información sobre el tipo de vegetación en forma de código numérico, por lo que debemos consultar la nomenclatura para relacionar el código numérico con el tipo de vegetación.

Una vez conocido el tipo de vegetación de cada zona realizaremos la reclasificación para asociar a cada tipo de vegetación un nivel de peligro.

○ Datos meteorológicos

Disponemos de datos meteorológicos (precipitaciones, humedad, dirección y velocidad del viento y temperatura) de las estaciones más cercanas a la zona de estudio.

Puesto que las estaciones de las que tenemos información se encuentran alrededor de la zona de interés se requiere de una interpolación para disponer de datos en toda el área. El resultado de la interpolación depende del número de estaciones de las que tengamos información, puesto que el área de estudio no abarca una gran cantidad de terreno disponemos de un número reducido de éstas.

Primeramente debemos crear una capa de puntos y situar las estaciones en sus coordenadas. Una vez estén situadas las estaciones crearemos los campos de datos meteorológicos de los que disponemos de información y añadimos el valor numérico que vamos a utilizar en cada caso.

En el caso de las variables de velocidad y dirección del viento se dispone de información del día 21 de julio a las 14:00 en la zona del segundo perímetro del incendio, por tanto, introducimos un observatorio en dicha zona con los valores de dirección y velocidad del viento obtenidos.

A continuación, interpolamos los datos por el método inverso de la distancia ponderada (*IDW*) ya que nos permite obtener el modelo de forma rápida y sencilla, se trata de una media ponderada básicamente. Para ello, utilizamos la herramienta "*Herramientas de Geoestatistical Analyst / Interpolación / IDW*", esta herramienta utiliza los valores obtenidos en las estaciones meteorológicas para predecir un valor para cualquier ubicación. Al realizar la interpolación, es importante especificar que el entorno sea el de nuestra zona de estudio y asignarle al radio de búsqueda una cantidad igual al número de estaciones.

Para finalizar transformamos los mapas a ráster y realizamos la reclasificación para asignar los niveles de peligrosidad.

## **RESULTADOS. PELIGRO DE IGNICIÓN**

### **Núcleos urbanos**

La actividad humana es la causante de la mayor parte de los incendios forestales. Así pues, en las zonas colindantes a núcleos urbanos el peligro de que se produzca un incendio será más elevado. Además, la zona de estudio presenta muchas zonas de cultivo cercanas a núcleos urbanos. Como bien sabemos las quemas agrícolas son las causantes de más de la mitad de los incendios, por tanto, estas zonas son más susceptibles a que se produzca un incendio.

Se establece que para una distancia entre 0 y 250 metros el tráfico de personas será bastante más significativo que en las zonas que distan entre 1000 y 1250 metros del núcleo urbano.

En la tabla siguiente se muestran los intervalos de distancias a los núcleos urbanos asignados al riesgo de incendio, es decir, al valor numérico que se ha utilizado para obtener el mapa final de peligro de ignición.

<b>Distancia a núcleo urbano (m)</b>	<b>Peligro</b>	<b>Valor asociado</b>
<b>0 - 250</b>	Muy Alto	5
<b>250 - 500</b>	Alto	4
<b>500 - 750</b>	Medio	3
<b>750 - 1000</b>	Bajo	2
<b>1000 - 1250</b>	Muy Bajo	1



### **Líneas eléctricas**

Las líneas eléctricas pueden provocar incendios ya sea por la presencia de vegetación en las zonas cercanas, por el mal mantenimiento de éstas o por la ocurrencia de un accidente que provoque que salgan chispas.

Existe una normativa nacional en lo referido a las condiciones de seguridad en las líneas eléctricas (***Real Decreto 223/2008 del 15 de febrero***). En las líneas que pasan sobre zonas con vegetación se debe de eliminar la vegetación como mínimo a una distancia de dos metros a cada lado de la proyección de la línea eléctrica sobre el suelo. La distancia será mayor a medida que aumente la tensión de la línea.

Debido a que el tamaño de píxel es de 30 metros, aunque la distancia mínima en lo referente al riesgo que se quería imponer era menor, está condicionada por el tamaño del píxel y es de 30 metros como se aprecia en la siguiente tabla.

<b>Distancia a línea eléctrica (m)</b>	<b>Peligro</b>	<b>Valor asociado</b>
<b>0 - 30</b>	Muy Alto	5
<b>30 - 60</b>	Medio	3
<b>60 - 90</b>	Bajo	2
<b>&gt;90</b>	Nulo	0



## **Vías de comunicación**

La presencia de vías de comunicación influye tanto en la ignición como en la propagación de un incendio. Como hemos comentado anteriormente, la gran mayoría de los incendios forestales se producen directa o indirectamente por factores humanos. Por tanto, debemos asignar un riesgo de incendio elevado a las zonas de mayor tránsito de personas. Así pues, las zonas forestales accesibles para la población son zonas con un alto peligro de ignición ya sea por la facilidad de lanzar objetos desde los propios vehículos o por la posibilidad de internarse a pie en las zonas forestales cercanas. Los datos muestran que la mitad de los incendios (50%) se originan cerca de caminos de acceso a los montes, carreteras, pistas forestales y sendas. Es decir, en lugares que facilitan la penetración en las zonas forestales.

En lo referente a las vías de comunicación, hemos distinguido entre dos tipos según su peligro de incendio.

El primer grupo lo forman las autovías y autopistas, caracterizadas por ser carreteras muy concurridas, de doble sentido y doble carril, en el que predominan las rectas y las curvas suaves. Las velocidades son más altas que en las demás vías y cuentan con un vallado que las delimita. Circulando por autopista o autovía solo podemos inmovilizar nuestro vehículo en el arcén por malestar físico de alguno de sus ocupantes, por avería o por accidente. Además, este tipo de vías tienen un mayor control de seguridad policial y cuentan con cámaras de seguridad vial.

Por lo tanto, aunque no existe peligro de que un supuesto pirómano estacione en el andén y se interne en el bosque para prenderlo, el peligro causado por el lanzamiento de objetos desde la misma vía se debe considerar.

Debido a las características descritas anteriormente de las autovías y autopistas, en este tipo de vías la distancia de peligro que se aplicaría sería la mínima, es decir, la del tamaño de pixel (30 metros).

La autovía C-42 y la autopista AP-7 discurren ambas cercanas a nuestra zona de estudio, pero no entran en los límites. Por lo tanto, no hay carreteras del primer grupo que influyan, aumentando el peligro de incendio, en ningún punto del área de interés.

El segundo grupo que hemos considerado son las carreteras convencionales y pistas. Se trata de vías más curvas que presentan normalmente una calzada para cada sentido. A diferencia de las autopistas y autovías no tienen vallas que las delimitan y se permite el estacionamiento de vehículos en la cuneta. En nuestra zona de estudio son el tipo de carretera que predomina permitiendo en numerosos casos la accesibilidad a zonas forestales.

Dado que en este tipo de carreteras se permite el estacionamiento en la cuneta y presentan un menor control de seguridad policial, se considera que además del peligro de incendio accidental también presentan peligro de incendio intencionado. Por tanto, el intervalo de distancias asignadas a cada nivel de riesgo será mayor que en las carreteras del primer grupo. El valor que se ha asignado es de 80 metros.

Distancia a Carretera del Grupo 2 (m)	Peligro	Valor asociado
0 - 80	Muy Alto	5
80 - 160	Alto	4
160 - 240	Medio	3
240 - 320	Bajo	2
320 - 500	Muy Bajo	1



## **Iluminación**

La humedad presente en el combustible es un factor con gran influencia en el proceso de combustión, y por tanto en el peligro de ignición. Dicha humedad depende en gran medida de las *precipitaciones* y de la exposición de la cobertura a la radiación solar (*insolación*). Por tanto, la insolación de las distintas laderas cobra gran importancia en la susceptibilidad de prenderse de los combustibles.

La iluminación es una variable que se puede obtener del modelo digital de elevaciones.

Las zonas con orientación Sud y Oeste presentarán niveles de insolación muy elevados, disminuyendo la cantidad de humedad en la vegetación y, por consiguiente, aumentando el riesgo de ignición.

<b>Iluminación</b>	<b>Peligro</b>	<b>Valor asociado</b>
<b>0 - 110</b>	Medio	3
<b>110 - 210</b>	Alto	4
<b>210 - 254</b>	Muy Alto	5



## **Temperatura**

Las elevadas temperaturas tienen un efecto directo sobre la desecación progresiva de los combustibles, que puede llegar a extremos de sequía y a la aparición de corrientes de aire que se elevan desde los suelos caldeados. Estos efectos son más evidentes en los meses de verano, y más concretamente a mediodía.

Se ha utilizado como dato la temperatura más alta del día que se produjo el incendio.

<b>Temperatura (º)</b>	<b>Peligro</b>	<b>Valor asociado</b>
<b>29,603 - 30</b>	Alto	4
<b>30 – 31,999</b>	Muy Alto	5



## **Precipitaciones**

Las precipitaciones están estrechamente relacionadas con la cantidad de humedad de la vegetación. Se han utilizado las precipitaciones acumuladas del mes de Julio hasta el día del incendio (20 de Julio), haciendo una media para obtener la cantidad de precipitaciones por día.

Las precipitaciones en el mes de Julio del año 2009 fueron escasas favoreciendo el estrés hídrico en el combustible vivo y, por tanto, el proceso de ignición. Además, cabe destacar que la gran parte de las precipitaciones, que se recogieron durante este mes en las estaciones meteorológicas cercanas a la zona de estudio, se produjeron en los primeros días del mes resultando en una situación de humedad del combustible, si cabe, más desfavorable del estimado. Como se aprecia en la tabla, únicamente hay un nivel de peligro en toda la zona de estudio, por esta razón no se ha añadido el mapa de precipitaciones a la memoria del trabajo.

<b>Precipitaciones (mm/día)</b>	<b>Peligro</b>	<b>Valor asociado</b>
<b>0,02 – 0,7</b>	Muy Alto	5

### **Cantidad de vegetación**

El peligro de incendio, como ya hemos apuntado, está estrechamente relacionado con las condiciones atmosféricas, las cuales influyen en el contenido de humedad de la vegetación, factor crítico en el inicio del fuego. La medición del contenido de humedad no es posible efectuarla a partir de mediciones directas en el terreno, pues sería una labor tediosa, escasamente representativa al tratarse de mediciones puntuales además de que tendría un coste económico elevado. Frente a estos problemas, numerosos autores han señalado el interés de utilizar imágenes de satélite para obtener información sobre áreas extensas, a menudo inaccesibles, con la frecuencia temporal que requiere esta variable. Por otro lado, a diferencia de los índices meteorológicos que estiman el estado de la vegetación a partir de las condiciones meteorológicas, la información que nos ofrecen los satélites sobre la cubierta forestal procede directamente de ella.

Así pues, el índice de vegetación más utilizado hasta el momento ha sido el “*Normalized Difference Vegetation Index*” (**NDVI**) definido como el cociente entre la diferencia y la suma de las reflectividades del *IRC* y del *Rojo*. El empleo de este índice en la determinación del estado hídrico de la vegetación se ha demostrado de gran utilidad. El NDVI está basado en el alto contraste entre la banda del rojo (R) y la del infrarrojo cercano (IRC) para la vegetación viva y verde. Los valores del NDVI varían entre +1 y -1 con valores más altos para la vegetación densa y valores muy bajos o negativos para agua, nieve y nubes.

Una vez conocemos los intervalos de valores que caracterizan a cada tipo de cobertura asignamos un peligro de incendio a cada intervalo del NDVI.

Intervalo	Peligro	Valor asociado
- 0,2973 a 0	0	Nulo
0 a 0,1	1	Muy Bajo
0,1 a 0,2	2	Bajo
0,2 a 0,3	3	Medio
0,3 a 0,4	4	Alto
0,4 a 0,6871	5	Muy Alto



## **Mapa de Peligro de Ignición**

Una vez obtenidas todas las variables, que consideramos que influyen en la probabilidad de que se produzca el fuego, pasaremos a realizar el cálculo que nos permita obtener el mapa de peligro de ignición.

Para ello nos basamos como se ha comentado anteriormente en la fórmula propuesta por Salas y Chuvieco que es la siguiente:

$$PI = 4 * H + 3 * V + 2 * I - E$$

En la fórmula que utilizamos se pondera cada variable según su importancia final en el desencadenamiento del fuego. Para aplicar la fórmula comentada utilizamos la herramienta *Raster Calculator* de ArcGIS.

La fórmula desglosada es la que se presenta a continuación:

$$PI = 4 * \{("Líneas Eléctricas" + "Núcleos Urbanos" + "Carreteras Grupo 2") / 3\} + 3 * \{("NDVI" + "Temperatura" + "Precipitaciones") / 3\} + 2 * \{"Iluminación"\} - "Altitud".$$



## **RESULTADOS. PELIGRO DE PROPAGACIÓN**

### **Altitud**

En primer lugar, es importante destacar que a medida que aumenta la altitud, se produce un cambio en la estructura y composición de la vegetación, una disminución de la temperatura y una disminución en la concentración de oxígeno. Los tres factores comentados influyen negativamente tanto en la propagación del fuego como en la ignición. Estos cambios en la composición y estructura de la vegetación son propiciados por los cambios ambientales que ocurren a lo largo de gradientes de altitud.

Podemos diferenciar tres niveles de peligro de propagación según la altitud:

- Zonas bajas: Las temperaturas son más elevadas y generalmente hay mayor presencia de combustible. Por tanto, el peligro de propagación es elevado.
- Zonas intermedias: Menor cantidad de combustible y temperaturas ligeramente más bajas.
- Zonas altas: Menor disponibilidad de combustible, temperaturas más bajas, pero zonas más expuestas al viento. Por tanto, el peligro de propagación es más bajo.

La variable altitud se ha considerado tanto en el peligro de ignición como en el de propagación. En zonas de elevadas altitudes la presencia de oxígeno disminuye dificultando el proceso de combustión y, por tanto, disminuyendo el peligro de ignición. No obstante, en la zona de estudio no hay grandes elevaciones por lo que los valores de peligro que se han asignado son bajos.

<b>Altitud</b>	<b>Mitigación del Peligro</b>	<b>Valor asociado</b>
<b>0 - 500</b>	Nula	0
<b>500 - 1000</b>	Muy baja	1
<b>1000 – 1228,47</b>	Baja	2



## **Combustibilidad**

La presencia de combustibles es necesaria para que se produzca y se propague un fuego. Además, depende de las características del combustible, el fuego se propagará más rápido y su intensidad será mayor. Por tanto, es evidente que para medir el nivel de peligrosidad de un posible incendio debemos estudiar la combustibilidad de la vegetación presente en la zona de estudio.

El modelo de Rothermel propone estudiar los combustibles identificando 13 modelos agrupados en 4 grupos como se aprecia en la tabla situada a la derecha.

Grupo	Modelo	Descripción
Pastos	1	La propagación del incendio está gobernada por los combustibles herbáceos finos (secos o casi secos). La propagación es rápida. El matorral o arbolado ocupa menos de un tercio del área. Ej.: praderas naturales, rastreros, herbáceas anuales y perennes. Carga de combustible (materia seca): 1-2 t/ha
	2	La propagación del incendio está gobernada por los combustibles herbáceos finos (secos o muertos). La propagación es rápida. El matorral o arbolado ocupa de un tercio a dos tercios del área. Las intensidades del fuego son mayores y pueden producirse pavesas. Carga de combustible (materia seca): 1-2 t/ha
	3	La propagación del incendio está gobernada por los combustibles herbáceos finos (un tercio o más está seco). La altura media del pasto es 1 m. Ej.: campo de cereales sin cosechar y praderas naturales altas. Carga de combustible (materia seca): 4-6 t/ha
Matorral	4	Matorrales de unos 2 m. de altura, repoblados o regenerados jóvenes densos. Fuegos rápidos que se propagan por las copas del matorral que forma un estrato casi continuo. Consume el follaje y el material leñoso fino vivo y muerto. Este material leñoso contribuye significativamente a la intensidad del incendio. Carga de combustible (materia seca): 25-35 t/ha
	5	Matorral no es alto (< 1 m de altura) pero cubre casi totalmente el área. El incendio se propaga por los combustibles superficiales que son la hojarasca de los matorrales y herbáceas. Los fuegos no tan intensos. El matorral es joven, con poco material muerto y su follaje contiene pocos volátiles. Carga de combustible (materia seca): 25-35 t/ha
	6	Matorrales y los restos (secos) de cortas de frondosas. Propagación por las copas del matorral cuyo follaje es más inflamable que en el modelo 5. Requiere vientos > 13 km/h. El incendio descenderá al suelo a bajas velocidades de viento o en zonas desprovistas de matorral. El matorral es más viejo pero no tan alto como en el modelo 4. Carga de combustible (materia seca): 10-15 t/ha
	7	Matorrales < 2 m, pinares con sotobosque de especies inflamables. Propagación con igual facilidad por el suelo forestal y por el matorral. Puede ocurrir en condiciones de humedad del combustible más altas debido a la mayor inflamabilidad de los combustibles. Carga de combustible (materia seca): 10-15 t/ha
Hojarasca bajo arbolado	8	Bosques cerrados de coníferas o frondosas con hojarasca compacta y poco matorral. Ej.: pinares de hoja corta, abetos, alerces. Fuegos superficiales (lentos) ardiendo con alburas pequeñas de llama (alguna llamarada). Peligroso solo en las peores condiciones atmosféricas. Carga de combustible (materia seca): 10-12 t/ha
	9	Bosques con hojarasca menos compacta, pinares de hoja larga, incendios de otoño en formaciones de frondosas. Propagación a través de la hojarasca superficial más rápidamente que en el modelo 8. Carga de combustible (materia seca): 10-12 t/ha
	10	Bosques con plagas, enfermedades (hongos), maltratados por el viento, sobre maduros, con material leñoso caído de claras y cortas parciales. Los fuegos queman combustibles de superficie y del suelo con mayor intensidad que en los dos modelos anteriores. Hay, también, más cantidad de ramas 76 mm muertas caídas sobre el suelo y los coronamientos (paso a fuego de copas en algún árbol) son más frecuentes. Carga de combustible (materia seca): 10-12 t/ha
Restos de operaciones selvícolas	11	Bosque claro o fuertemente aclarado. Restos de poda o claras con plantas herbáceas rebrotando. Carga de combustible (materia seca): 25-30 t/ha o ligera. Pocos materiales caídos de más de 76 mm de diámetro.
	12	Predominio de restos sobre el arbolado. Resto cubriendo todo el suelo. Carga de combustible (materia seca): 50-80 t/ha. El incendio se propaga hasta encontrar cortafuegos o cambio de combustibles. Más materiales caídos de más de 76 mm de diámetro. Puede generar pavesas.
	13	Muchos materiales caídos de más de 76 mm de diámetro. Puede generar pavesas. Carga de combustible (materia seca): 50-80 t/ha.

Para identificar los tipos de cobertura vegetal hemos descargado del CNIG el CORINE LAND COVER de Tarragona. Una vez distinguidos los tipos de cobertura vegetal presentes en nuestra zona de estudio pasamos a asignarles un peligro en función de su facilidad de prenderse y ayudar a la propagación del fuego.

Tipo de cobertura	Peligro	Valor asociado
Tejido urbano continuo	Nulo	0
Tejido urbano discontinuo	Nulo	0
Tierras de labor en secano	Alto	4
Terrenos regados permanentemente	Medio	3
Viñedos	Bajo	2
Frutales	Medio	3
Olivares	Medio	3
Mosaico de cultivos	Alto	4
Terrenos principalmente agrícolas	Alto	4
Bosques de frondosas	Muy Alto	5
Bosques de coníferas	Muy Alto	5
Bosque mixto	Muy Alto	5
Pastizales naturales	Muy Alto	5
Landas y matorrales mesófilos	Muy Alto	5
Matorrales esclerófilos	Muy Alto	5
Matorral boscoso de transición	Muy Alto	5
Playas, dunas y arenales	Nulo	0
Roquedo	Nulo	0
Zonas quemadas	Muy Bajo	1
Espacios con vegetación escasa	Muy Bajo	1
Zonas industriales y comerciales	Nulo	0
Cursos de agua	Nulo	0



## **Pendiente**

La pendiente es el factor topográfico más influyente en el comportamiento de los incendios forestales. La velocidad de propagación del fuego aumenta con el ángulo que ofrece la superficie al frente de llamas, por ello, la propagación a favor de pendiente es rápida y peligrosa.

Así pues, a medida que aumenta la pendiente la velocidad de propagación será mayor debido a que los combustibles están dispuestos de forma que se calientan más rápidamente y facilitan la progresión y viveza de las llamas. Además de influir en el comportamiento del fuego las elevadas pendientes dificultan el acceso y por tanto las tareas de extinción del incendio.

Finalmente, es importante tener en cuenta que, aunque la velocidad de propagación aumenta con la pendiente, en laderas de pendientes muy elevadas la vegetación es prácticamente inexistente. Por tanto, en zonas de pendientes muy altas consideramos que el peligro es nulo debido a la ausencia de combustible.

<b>Pendiente</b>	<b>Peligro</b>	<b>Valor asociado</b>
<b>0 - 10</b>	Muy Bajo	1
<b>10 - 20</b>	Bajo	2
<b>20 - 30</b>	Medio	3
<b>30 - 50</b>	Alto	4
<b>50 - 80</b>	Muy Alto	5
<b>&gt; 80</b>	Nulo	0



## **Orientación**

El ángulo de incidencia de los rayos del sol varía con la exposición y las estaciones. Al mediodía, los rayos solares pueden tener una inclinación alrededor de los 55° y una ladera con orientación sur (hemisferio norte), con una pendiente de 35°, recibe una radiación de plano (equivalente a una radiación en vertical) mientras que en la umbría, con una pendiente equivalente, el ángulo es de sólo 20°. La cantidad de energía por unidad de superficie es, pues, claramente más débil en el segundo caso, ya que la reflexión aumenta cuando el ángulo de incidencia disminuye.

En el hemisferio norte, la orientación sur es la más cálida y luminosa, por lo que las laderas con orientación sur presentan mayor sequedad del terreno. Por otra parte, las laderas las de la umbría son más sombrías y relativamente más húmedas, no tanto porque llueva más sino porque la menor insolación disminuye considerablemente la evaporación.

La orientación más cálida y luminosa en las regiones mediterráneas del hemisferio norte es al suroeste, en estas laderas la vegetación no suele ser abundante aunque la flora puede ser muy abundante en especies heliófilas. El pino carrasco (*Pinus halepensis*) domina en las solanas hasta unos 1.000 metros de altitud.

Así mismo, los vientos provenientes del Sur se consideran vientos cálidos y secos trayendo consigo un aumento considerable de sequedad en el combustible.

Intervalo	Orientación	Peligro	Valor asociado
337,5 – 22,5	Norte	Medio	3
22,5 – 67,5	Nordeste	Medio	3
67,5 – 112,5	Este	Medio	3
112,5 – 157,5	Sudeste	Alto	4
157,5 – 202,5	Sud	Muy Alto	5
202,5 – 247,5	Sudoeste	Muy Alto	5
247,5 – 292,5	Oeste	Muy Alto	5
292,5 – 337,5	Noroeste	Medio	3
-1	Plano	Alto	4



### **Parques de bomberos**

Evidentemente, la cercanía de parques de bomberos, en zonas vulnerables a ser afectadas por un incendio forestal, se considera un factor que reduce el peligro de propagación del incendio en cuanto a que agiliza las maniobras de extinción.

En las cercanías de la zona de estudio se encuentra un parque de bomberos. Puesto que las carreteras que comunican la zona de estudio con el parque de bomberos presentan bastantes curvas que dificultan la accesibilidad se han establecido unas distancias de influencia de 5 km. La distancia asociada a la mitigación del riesgo muy baja se ha considerado que debe ser mayor ya que, aunque la distancia sea elevada, los bomberos acudirán a extinguir el incendio.

<b>Distancia a Parque de bomberos (km)</b>	<b>Mitigación del Peligro</b>	<b>Valor asociado</b>
<b>0 - 5</b>	Muy Alta	5
<b>5 - 10</b>	Alta	4
<b>10 - 15</b>	Media	3
<b>15 - 20</b>	Baja	2
<b>20 - 35</b>	Muy Baja	1



### **Puntos de agua**

La disponibilidad de puntos de agua es un factor de especial importancia en las tareas de extinción de un incendio forestal. En el entorno mediterráneo la disponibilidad de agua en el ámbito forestal se ve en numerosas ocasiones limitada debido a las pocas precipitaciones. No obstante, una buena distribución de puntos de agua artificiales juega un papel crucial reduciendo los tiempos de desplazamiento y carga de agua y, por tanto, agilizando las tareas de extinción.

Así pues, para nuestro estudio tendremos en cuenta aquellos puntos de agua, naturales o artificiales, que permitan a los medios de extinción hacer uso de ellos en condiciones de seguridad. Las distancias de influencia asociadas a cada nivel de mitigación del riesgo que se han propuesto son de 2 kilómetros.

<b>Distancia a punto de agua (km)</b>	<b>Mitigación del Peligro</b>	<b>Valor asociado</b>
<b>0 - 2</b>	Muy Alta	5
<b>2 - 4</b>	Alta	4
<b>4 - 6</b>	Media	3
<b>6 - 8</b>	Baja	2
<b>8 -10</b>	Muy Baja	1



## **Cortafuegos**

Las líneas de cortafuegos consisten en la realización de fajas de bordes paralelos con eliminación de la vegetación hasta suelo mineral que, han de tener las siguientes anchuras mínimas:

- Dos veces y media la altura dominante de los árboles y, al menos, 15 m, cuando se realicen en las proximidades de zonas arboladas.
- 10 m, cuando se realicen próximas a vegetación arbustiva o de matorral.
- 5 m, cuando se realicen en zonas de vegetación herbácea.

Las áreas cortafuegos son zonas en las que se hace una reducción del combustible vegetal, fundamentalmente de vegetación arbustiva, de matorral o herbácea y en ocasiones de la arbórea y en las que la anchura debe tener unas dimensiones de un treinta por ciento superior a las señaladas para las líneas cortafuegos, de forma que se modifique el comportamiento del fuego permitiendo que la actuación de los medios de extinción sea más segura y eficaz. Es importante distinguir las *áreas cortafuegos* de los *cortafuegos tradicionales*. En esencia *el cortafuegos* representa una eliminación total de la vegetación frente al área cortafuegos que es un tratamiento de ésta.

Como elementos artificiales con función de cortafuegos tomamos las vías de comunicación. No obstante, debe de tenerse en cuenta la anchura de la vía para asignarle un nivel de mitigación del peligro.

La mitigación del peligro que asignaremos a los cortafuegos será total siempre y cuando la anchura de estos sea mayor a 30 metros, considerando que la anchura mínima de una línea de cortafuegos debe ser de dos veces y media la altura de los árboles. Así pues, asignaremos un nivel de mitigación del peligro medio a las carreteras autonómicas ya que al no llegar a la anchura de 30 metros no se puede considerar que su mitigación del peligro sea total.

Por otra parte, disponemos de la hidrología que dependiendo de su anchura y caudal también se podrán considerar como cortafuegos.

Los ríos que presenten flujo de agua durante todo el año tendrán asignada una mitigación del peligro de propagación total, ya que además de tener un flujo permanente tienen una anchura suficiente para funcionar como cortafuego. No obstante, los ríos que no disponen de flujo de agua permanente tendrán asignada una mitigación del peligro media ya que no hay garantías de que funcionen como cortafuegos durante la totalidad del año.

<b>Cortafuegos</b>	<b>Mitigación del Peligro</b>	<b>Valor asociado</b>
<b>Carreteras autonómicas</b>	Media	3
<b>Pistas</b>	Baja	2
<b>Cursos de agua no permanentes</b>	Media	3
<b>Cursos de agua permanentes</b>	Muy Alta	5







## **Viento**

El viento es un factor de gran influencia en la propagación de un incendio forestal, ya que afecta aportando oxígeno a la combustión, acelerando la pérdida de agua de los combustibles, aproximando las llamas a la vegetación que aún no arde (aumentando la velocidad de quema) y desplazando chispas, a zonas aún no afectadas por el incendio, originando nuevos focos.

Los datos que se han utilizado para obtener el mapa de peligro de propagación asociado al viento son de la racha máxima del día 21 de julio, ya que fue el día en el que se descontroló el incendio.

En la tabla siguiente se aprecia una clasificación de las velocidades de vientos y sus efectos.

GRADO	NOMBRE USUAL	EFFECTOS APRECIABLES EN TIERRA	VELOCIDAD (Km/h)
0	Calma	Humo vertical.	0 a 1
1	Ventolina	Se inclina el humo, las banderas y las veletas no se mueven.	1 a 5
2	Flojito -brisa muy débil-	Se siente el viento en la cara. Se mueven las hojas de los árboles, las banderas y las veletas.	6 a 11
3	Flojo -brisa débil-	Se agitan las hojas de los árboles. Las banderas ondean.	12 a 19
4	Bonancible -brisa moderada-	Se levanta polvo y papeles pequeños. Se mueven las ramas pequeñas.	20 a 28
5	Fresquito -brisa fresca-	Se mueven los árboles pequeños. Pequeñas olas en los estanques.	29 a 38
6	Fresco -brisa fuerte-	Se mueven las ramas grandes. Silban los hilos del telegrafo. Dificultad con los paraguas.	39 a 49
7	Frescachón -viento fuerte-	Todos los árboles en movimiento. Es difícil andar contra el viento.	50 a 61
8	Temporal -duro-	Se rompen las ramas delgadas de los árboles. Generalmente no se puede andar contra el viento.	62 a 74
9	Temporal fuerte -muy duro-	Arboles arrancados y daños en edificios.	75 a 88
10	Temporal duro -temporal-	Graves daños en edificios.	89 a 102
11	Temporal muy duro -borrasca-	Destrozos generalizados.	103 a 117
12	Temporal huracanado -huracán-	Enormes daños.	Más de 118

En lo que respecta a la dirección de los vientos, se consideran más peligrosos los de componente oeste y sur ya que son vientos más cálidos y secos. En el área de estudio los vientos predominantes son de levante, provenientes del este.

El día 21 de julio los vientos predominantes eran de componente sureste, en la tabla se aprecia la asignación de niveles de peligro según la dirección del viento.

Proveniencia (º)	Peligro	Valor asociado
120,032 - 135	Bajo	2
135 – 157,242	Medio	3

Velocidad (km/h)	Peligro	Valor asociado
43,008 - 49	Alto	4
49 – 54,979	Muy Alto	5





### **Humedad atmosférica**

La cantidad de agua presente en los combustibles es un factor importante para analizar la rapidez a la que éstos arden y ésta depende entre otros factores de la humedad del aire. Por tanto, aunque su influencia no es tan significativa como la del viento o la pendiente se debe considerar la humedad del aire en la fase de propagación.

Evidentemente los combustibles secos arderán con mayor rapidez que los húmedos.

Los datos de humedad que se han utilizado son los del día que se produjo el incendio a las 13:00 por ser la hora más calurosa de las que disponemos de información. El mapa obtenido únicamente presenta un nivel de peligro para toda el área de estudio, por lo que no sea ha añadido el mapa.

<b>Humedad</b>	<b>Mitigación del Peligro</b>	<b>Valor asociado</b>
<b>49,9859 – 43,2535</b>	Baja	2

### **Mapa de Peligro de Propagación**

Una vez obtenidas todas las variables influyentes en la propagación del fuego podemos realizar el cálculo que dará como resultado el mapa de peligro de propagación. Como se ha comentado anteriormente la fórmula en la que nos hemos basado para obtener el mapa de peligro de propagación es la siguiente:

$$PP = 5 * V + 4 * S + 3 * A - E - FB$$

Para introducir la fórmula en ArcGis se ha utilizado la herramienta *Raster Calculator*.

Es importante dar mayor relevancia a las variables que tengan más influencia en el comportamiento del incendio, como por ejemplo la velocidad del viento. La fórmula que se ha introducido en ArcGis es la siguiente:

$$PP = 5 * \{\text{"Combustibilidad"}\} + 4 * \{(\text{"Pendiente"} + (0,2 * \text{"Dirección del Viento"} + 0,8 * \text{"Velocidad del viento"})) / 2\} + 3 * \{\text{"Orientación"}\} - \{\text{"Altitud"}\} - \{(\text{"Carreteras autonómicas"} + \text{"Pistas"} + \text{"Hidrología"} + \text{Embalses} + \text{"Parques de bomberos"})\} - \{\text{Humedad}\}.$$



## **PELIGRO DE INCENDIO FORESTAL**

Por último obtendremos el mapa de peligro final en el que se podrán apreciar las zonas más vulnerables a que se produzca un incendio y, además, que presenten más peligro de propagación. Por tanto, aparecerán destacadas aquellas zonas en las que además de ser más probable que se desencadene un incendio, si se produjera los daños serían importantes.

Para ello, únicamente debemos sumar el mapa de peligro de ignición y el mapa de peligro de propagación mediante la herramienta *Raster Calculator* de ArcGis. Así pues, la fórmula que se ha utilizado es la siguiente:

***P.I. = Peligro de Ignición + Peligro de Propagación***



## **ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS**

Para empezar analizaremos los resultados obtenidos en el mapa de peligro de ignición, se aprecia que las zonas que más peligro presentan son las cercanas a los núcleos urbanos y vías de comunicación. Evidentemente, cuánto más cerca nos encontremos de un núcleo urbano mayor será la cantidad de vías de comunicación y, por tanto, al sumarse la influencia de las dos variables, mayor será el peligro de ignición. En general, los valores de peligro obtenidos son bajos salvo en las cercanías de los núcleos urbanos y vías de comunicación, esto es debido a que las variables de cercanía a núcleos urbanos, vías de comunicación y líneas eléctricas presentan valores elevados en sus zonas colindantes pero valores nulos en todo el resto del área de estudio, por lo que al obtener el mapa de peligro de ignición estos valores nulos afectarán disminuyendo significativamente los valores de peligro. A la vista de los resultados se evidencia que el modelo utilizado da una elevada importancia a los factores humanos y menor importancia a otros factores como los relacionados con la vegetación o topográficos. La importancia que recibe el factor humano está justificada, ya que gran parte de los incendios forestales se producen por la acción directa o indirecta del hombre.

El resultado del mapa de peligro de propagación es bien distinto, ya que en este caso los factores meteorológicos, topográficos y de tipología de combustible cobran una elevada importancia en el resultado final. Lógicamente, aunque los incendios generalmente se inician en zonas de tránsito humano, la velocidad de propagación del fuego es mayor a medida se adentra en zonas boscosas. Además, se observa que debido a las extremas condiciones meteorológicas del mes de julio se obtienen peligros muy altos en gran parte del área de estudio. En este caso, la presencia de vías de comunicación e hidrología crean zonas en las que se reduce el peligro de propagación, ya que funcionan como cortafuegos. Así mismo, es importante destacar la presencia de embalses y el parque de bomberos que reducen también el peligro de las zonas colindantes.

Por último analizaremos el mapa de peligro final en el que se engloba tanto el peligro de ignición como el de propagación. En el mapa de peligro final se aprecia la importancia del factor humano en el riesgo de incendio. Las áreas con valores más elevados de peligro son aquellas en las que se suma el peligro que ocasiona la cercanía a núcleos urbanos o vías de comunicación con el peligro que supone la presencia de combustibles. También se observa que la topografía, cantidad de vegetación y los factores meteorológicos tienen una importante influencia en la peligrosidad de un incendio en zonas forestales.

## **ZONA AFECTADA POR EL INCENDIO**

Partiendo de las imágenes de satélite, tomadas días antes y días después de producirse el incendio, y de los resultados obtenidos en el estudio haremos una comparativa para comprobar si el área afectada por el incendio presentaba un peligro elevado de que se produjera un incendio y de que se propagara. De esta manera, podremos analizar si el trabajo realizado se ajusta a la situación que se daba en las fechas del incendio y, por tanto, se valorará la fiabilidad de los mapas obtenidos.

En primer lugar, realizamos una combinación de bandas para visualizar la cantidad de vegetación presente antes y después del incendio y de esta manera apreciar mejor el área afectada. Asignamos la Banda 4 para el rojo, la Banda 3 para el verde y la Banda 2 para el azul. Mediante esta combinación de bandas aparecen en rojo intenso las zonas de vegetación y en tonos grises el área quemada. Una vez destacada el área quemada pasamos a delimitarla para añadirla a nuestros mapas finales y comprobar los valores obtenidos para esta área.

Si nos centramos en la comparación del área afectada con el peligro de ignición, se observa que el riesgo de ignición es elevado debido a la cercanía del municipio de Horta de Sant Joan y de algunas vías de comunicación. Se trataba de una zona en la que era evidente la presencia del ser humano, que fue la causa del inicio del fuego.

Centrándonos en la comparación del área afectada con el peligro de propagación, apreciamos que toda el área quemada presenta valores muy elevados de peligro (altos y muy altos). Así pues, en el caso de producirse un incendio las condiciones eran muy favorables para que se propagara rápidamente, más aún considerando que se registraron fuertes rachas de viento muy poco frecuentes en la zona en el mes de julio y que el parque de bomberos se encontraba bastante lejos. Por otra parte, cabe destacar que se disponía de varios embalses cercanos a la zona del incendio que fueron claves para agilizar las tareas de extinción.

En cuanto a los valores de peligro obtenidos en el mapa de incendio final para el área quemada, se aprecia que son valores de peligro medios y altos.

Tras el análisis de los mapas finales comparándolos con el área afectada por el incendio, podemos concluir que los mapas son fiables ya que ofrecen valores elevados para el área quemada por el incendio de Horta de Sant Joan.







## **CONCLUSIONES**

El trabajo realizado se ha fundamentado en el modelo propuesto de Salas y Chuvieco, sin embargo, este tipo de trabajos van evolucionando incorporando modificaciones para mejorar los resultados significativamente. Así pues, en el trabajo realizado se han modificado algunas variables y añadido otras para que el resultado final se ajustara en mayor medida a la realidad.

Por otra parte, tras estudiar la evolución de los incendios en los últimos años, creo que se debe de trabajar para conseguir reducir significativamente el área afectada por los incendios forestales. Primeramente, debe alcanzarse un acuerdo entre países en lo que respecta a los modelos de peligro de incendio ya que en algunos casos no se consideran factores de gran importancia como son los humanos o los del tipo de combustible. En mi opinión, debería realizarse un índice válido y aceptado para todo el mundo, que reuniera los factores más influyentes tanto en la iniciación del fuego como en su propagación, del que además se dispusiera de información detallada del procedimiento para realizarlo.

Las nuevas tecnologías de información geográfica facilitan mucho el trabajo con un gran volumen de datos, para conseguir índices con un elevado grado de fiabilidad.

En cuanto a las campañas para concienciar a la población, es evidente que son necesarias ya que se producen numerosos incendios debido a negligencias. No obstante, más importante aún es mejorar la actuación frente a los incendios ampliando el número de bomberos y guardas forestales en las zonas más conflictivas y ampliando también la red de puntos de recogida de agua.

El incendio de Horta de San Joan fue causado por un pirómano y se llevó consigo la vida de cinco bomberos que luchaban por apagar las llamas. Hechos como éste deberían hacernos pensar antes de tirar una colilla o encender un fuego cerca de un monte lo que podemos desencadenar.

Tras el trabajo realizado, podemos concluir que este estudio nos marca las zonas más conflictivas y vulnerables a los incendios forestales, zonas que requieren de una mejora de los sistemas de mitigación. Estas mejoras pueden ser nuevos parques de bomberos, puntos de agua, guardias forestales, mejoras que aunque no tendrán gran influencia en el riesgo de ignición, serán de gran importancia para agilizar las tareas de control y extinción de las llamas.

## **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

### Documentos consultados:

- CHUVIECO, E. Y MARTÍN M.P.2004. Nuevas Tecnologías para la estimación del riesgo de incendios forestales. Consejo Superior de Investigaciones Científicas.
- E. CHUVIECO, A. CRUZ TREVIÑO, E. GARCÍA DÍEZ, E. DE LUIS CALABUIG, B. PÉREZ RAMOS, F. RODRÍGUEZ SILVA, J. SAN MIGUEL, R. VALLEJO, J.A. VEGA, R. VÉLEZ MUÑOZ, G. ZAVALA. Impactos sobre los Riesgos Naturales de Origen Climático.
- T.CARBALLAS FERNANDEZ. Los incendios Forestales.
- INMACULADA AGUADO Y ANDREA CAMIA. Fundamentos y Utilización de Índices Meteorológicos de Peligro de Incendio.
- MERCHE B. BODÍ, ARTEMI CERDÀ, JORGE MATAIX-SOLERA, STEFAN H. DOERR. Efectos de los incendios forestales en la vegetación y el suelo en la cuenca mediterránea.
- BURRIEL MORENO, J. A.; CASTRO DORIA, F. X.; MATA BRETÓN, T.; MONTSERRAT AGUADÉ, D.; GABRIEL DE FRANCISCO, E.; IBÀÑEZ I MARTÍ, J. J. La Mejora del Mapa Diario de Riesgo de Incendio Forestal en Cataluña.
- Plan especial de emergencias por incendios forestales de Cataluña (INFOCAT).
- DIRECCIÓ GENERAL DE PREVENCIÓ, EXTINCIÓ D'INCENDIS I SALVAMENTS. Lo Forestalillo Nº 138.
- Metodología de producción de la base de datos CLC –CHANGE 2000-2006

### Páginas web consultadas:

- <http://www.ign.es>
- <http://www.aemet.es>
- <http://earthexplorer.usgs.gov/>
- <https://parcnaturaldelsports.wordpress.com/>
- <http://leblic.es/blogs/media/blogs/articulos/articulo50.pdf>
- <http://agricultura.gencat.cat/>
- <http://www.ecologistasenaccion.org/>
- [http://adfmasquefa.net/uploads/CursoBasicoIF\\_1\\_121.pdf](http://adfmasquefa.net/uploads/CursoBasicoIF_1_121.pdf)
- [https://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/web/Bloques\\_Tematicos/Patrimoni o Natural. Usos Y Gestion/Montes/Incendios Forestales/plan\\_infoca/Cap06\\_prevention incendios forestales.pdf](https://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/web/Bloques_Tematicos/Patrimoni_o_Natural_Usos_y_Gestion/Montes/Incendios_Forestales/plan_infoca/Cap06_prevention_incendios_forestales.pdf)

## Estudio de Peligro de Incendio Forestal en el Parque Natural de Els Ports (Tarragona)

- [http://www.ombratorrada.cat/assets/down\\_ports.pdf](http://www.ombratorrada.cat/assets/down_ports.pdf)
- <http://es.climate-data.org/location/639349/>