

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA

Departamento de Ingeniería Hidráulica
y Medio Ambiente



TESIS DOCTORAL

Termografía infrarroja aplicada a la detección de incendios en la interfaz urbano-forestal y su optimización mediante redes neuronales artificiales

Autor:

Pedro Canales Mengod

Directores:

José Andrés Torrent Bravo

María Leticia López Sardá

Febrero, 2015

Agradecimientos:

La presente Tesis no ha sido elaborada bajo el paraguas de ningún proyecto de investigación, ni de ninguna beca doctoral, sino que ha sido un proyecto personal cuya intención era la de dar respuestas concretas a preguntas específicas sobre los problemas que la generación de falsas alarmas de los sistemas de detección de incendios forestales plantea en su uso práctico; deseando que mi experiencia como bombero, tanto en la lucha contra incendios como en la gestión de este colectivo, pudiera ayudar a los desarrolladores de este tipo de tecnología, los cuales suelen estar alejados del terreno de la lucha contra los incendios; y a sus gestores, los cuales tampoco se caracterizan por tener una experiencia práctica en el campo de la extinción.

Es por ello que, en lo institucional, quiero mostrar mi agradecimiento al Departamento de Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente de la UPV, a la Oficina Técnica Devesa Albufera, al Centro de Estudios Ambientales del Mediterráneo, a la AEMET, a la empresa NGARO y, sobre todo, al Servicio de Bomberos del Ayuntamiento de Valencia; entidades que vieron en mí no sólo a un estudiante o a un bombero, sino a un investigador con el que colaborar. Sin los datos que estas instituciones facilitaron y sin las reuniones que mantuvimos al principio de la investigación no hubiera sido posible desarrollar este trabajo.

En lo personal, quiero mostrar mi agradecimiento a Julián Rodríguez, antiguo Inspector Jefe del Servicio de Prevención, Extinción de Incendios y Salvamento del Ayuntamiento de Valencia, por haberme abierto las puertas de bomberos, por haberme ofrecido todas las facilidades posibles durante la investigación y, además, por haber depositado en mí durante más de dos años su confianza para encomendarme labores que excedían en mucho de mis responsabilidades profesionales. Fueron años en los que, pese a las múltiples desavenencias, aprendí muchísimo acerca de la gestión de un colectivo tan peculiar como el de bomberos.

También agradecerle a Francisco Collado y a todo el resto de personal de la Oficina Técnica Devesa Albufera su amabilidad a la hora de facilitar los datos, y su respaldo a la investigación hecha por el que un día fue el becario de la contrata de poda y mantenimiento.

Y, finalmente, mi más sincero y profundo agradecimiento a cada una de las personas que me han dado su apoyo continuo durante todo este largo periodo:

A mis directores de Tesis, muy especialmente a José Andrés Torrent, con el que me embarqué en un proceso que no sabía muy bien adónde me llevaba, y con el que he aprendido

mucho acerca de la problemática de los montes, los incendios forestales, la investigación y carrera universitaria... y la vida en general.

A mi madre y a mi padre, o a mi padre y a mi madre, el orden es indiferente; porque los dos, cada uno a su manera, llevan toda la vida dejándose la piel para sacar lo mejor de mí mismo, y siempre han hecho todo lo que estaba a su alcance para que pudiera superar cada una de las metas que me iba planteando: carrera universitaria, oposición, máster, doctorado... mil gracias por todo, y por todo lo que aún haréis por mí.

A mi hermana, por ser esa observadora de fondo que, aunque parezca que no, todo lo ve, y que, desde pequeña, siempre ha estado atenta a mis tropiezos para ser de las primeras que me ayudara a levantarme.

A Lucía, por apoyarme, por animarme, por comprenderme, por quererme... por hacer que todo esto, pese a que muchas veces yo crea que no termina de servir para nada, tenga un sentido. Por hacerme sentir que, aunque los mejores momentos de mi vida hayan sido con ella, lo mejor aún está por llegar... en definitiva, porque te quiero con locura...

Y, bueno, puede que no sea lo habitual... pero, no me puedo resistir a hacerlo... me agradezco a mí mismo el acabar esta Tesis, por orgulloso y cabezón.

Resumen:

La Albufera de Valencia y su Devesa, forman un conjunto único con un elevado valor tanto ecológico como social; motivo que les llevó a ser declarados Parque Natural en 1986 por parte de la Generalitat Valenciana; siendo el primer parque declarado en esta comunidad.

La Devesa es el cordón litoral que separa el Mar Mediterráneo del lago de la Albufera, y es considerada un área natural con altos valores científicos, culturales, paisajísticos y educativos. Y, pese a que durante la década de los 60 sufrió un proceso de urbanización, en la actualidad se encuentra en plena fase de regeneración hacia una época de clímax ecológico.

Esta regeneración ha sido posible gracias a los esfuerzos, tanto administrativos como económicos, que han realizado diferentes administraciones para su conservación y protección. Sin embargo, estos esfuerzos no impiden que sistemáticamente el monte de la Devesa sufra incendios forestales que merman su capacidad de regeneración y que no solo producen un daño ecológico y económico importante, sino que aquellos que alcanzan grandes dimensiones ponen en riesgo la vida de las personas que allí residen, y de los equipos de extinción que tratan de sofocarlos.

La presente Tesis se centra en el estudio y optimización del sistema de detección de incendios forestales mediante infrarrojos instalado en la Devesa. Para ello se analizan los incendios ocurridos durante más de diez años, y las alarmas generadas durante cinco años de funcionamiento del sistema, relacionando estas alarmas con las condiciones meteorológicas, a fin de disminuir los falsos positivos; a su vez se desarrolla un sistema de clasificación de riesgo de incendio a partir de redes neuronales, basado en los parámetros meteorológicos descriptores usados en el IFW, índice oficial establecido por la AEMET para clasificar el riesgo de incendio.

Una vez desarrollada la red neuronal para clasificar el riesgo de incendio, y analizado el sistema de cámaras infrarrojas, se combinan ambos a fin de establecer un sistema de clasificación de las alarmas capaz de disminuir los falsos positivos, y de establecer un criterio de riesgo al usuario del sistema de detección de incendios.

Resum:

L'Albufera de València i la seva Devesa, formen un conjunt únic amb un elevat valor tant ecològic com social; motiu que els va portar a ser declarats Parc Natural al 1986 per part de la Generalitat Valenciana; sent el primer parc declarat en aquesta Comunidad.

La Devesa és el cordó litoral que separa el mar Mediterrani del llac de l'Albufera, i és considerada una àrea natural amb alts valors científics, culturals, paisatgístics i educatius. I tot i que durant la dècada dels 60 va patir un procés d'urbanització, en l'actualitat es troba en plena fase de regeneració cap a una època de clímax ecològic.

Aquesta regeneració ha estat possible gràcies als esforços tant administratius, com econòmics, que han realitzat diferents administracions per a la seva conservació i protecció. No obstant això, aquests esforços no impedeixen que sistemàticament la muntanya de la Devesa pateixi incendis forestals que minven la seva capacitat de regeneració i que, no només produeixen un dany ecològic i econòmic important, sinó que aquells que arriben a tindre grans dimensions, posen en risc la vida de les persones que hi viuen, i dels equips d'extinció que tracten de sufocar-los.

Aquesta tesi se centra en l'estudi i optimització del sistema de detecció d'incendis forestals mitjançant infrarojos instal·lat a la Devesa. Per a això s'analitzen els incendis ocorreguts durant més de deu anys i les alarmes generades durant cinc anys de funcionament del sistema, relacionant aquestes alarmes amb les condicions meteorològiques; per tal de disminuir els falsos positius; al seu torn es desenvolupa un sistema de classificació de risc d'incendi a partir de xarxes neuronals, basat en els paràmetres meteorològics descriptors usats en el IFW, índex oficial establert per l'AEMET per classificar el risc d'incendi.

Un cop desenvolupada la xarxa neuronal per classificar el risc d'incendi, i analitzat el sistema de càmeres infraroges, es combinen tots dos a fi d'establir un sistema de classificació de les alarmes capaç de disminuir els falsos positius, i d'establir un criteri de risc a l'usuari del sistema de detecció d'incendis.

Summary:

The Albufera of Valencia and its Devesa, form a single unit with both an ecological and social high value; reason that led them to be declared Natural Park in 1986 by the Generalitat Valenciana; being the first park declared in this autonomous community.

The Devesa is the spit that separates the Mediterranean Sea from the Albufera lake, and is considered a natural area with high scientific, cultural, scenic and educational values. And although during the 60s underwent a process of urbanization, today is in the throes of regeneration to an era of ecological climax.

This regeneration has been possible because of the economics efforts made by various administrations for their conservation and protection. However, these efforts do not prevent Devesa from suffering systematically wildfires that undermine their ability to regenerate and that not only produce significant ecological and economic damage, but when fires reach great dimensions, threaten the life of the people who live there and also the firefighting services

This Thesis focuses on the study and optimization of the detection system of wildfires using infrared installed in the Devesa. For doing this, the wildfires produced during ten years and the alarms generated during five years of operation of the system are analyzed, relating these alarms with the weather conditions; in order to reduce false positives; on the other hand a fire risk classification system based on neural networks is developed, using as descriptions parameters those used in the IFW, that is the official system used for the official organization in charge of fire weather index in Spain: AEMET.

After the development of the neural network to classify the risk of fire, and analyzed the infrared camera system, both are combined to establish a classification system of the alarms, in order to reduce false positives, and establish a criterion of risk to the user of the fire detection system.

Índice General

<i>Capítulo I</i>	1
Capítulo I: Introducción	1
I.1. Motivación de la investigación	1
I.2. Objetivos	3
I.3. Contenido y estructura de la Tesis.....	5
<i>Capítulo II</i>	9
Capítulo II. Marco teórico	11
II.1. Zona de interfaz urbano-forestal	11
II.1.1. El concepto de interfaz	12
II.1.2. Definiciones de interfaz urbano-forestal.....	13
II.1.2.1. IUF definida desde consideración de los recursos naturales	13
II.1.2.2. IUF definida desde la consideración sociopolítica.....	14
II.1.2.3. IUF definida desde la consideración geográfica	14
II.1.2.4. IUF definida desde consideración de incendios forestales.....	17
II.1.2.4.1 Enclaves aislados y no abundantes.....	18
II.1.2.4.2. Enclaves dispersos	18
II.1.2.4.3. Enclaves de núcleos compactos con masa forestal continua.....	19
II.1.2.4.4. Enclaves de núcleos compactos con masa forestal sólo en el límite...20	
II. 1.3 Problemática de los incendios en IUF.....	21
II. 2. Sistemas de detección de incendios forestales	28
II. 2. 1. Sistema de detección de incendios tradicionales terrestres fijos	28
II. 2.2 Sistema de detección de incendios tradicionales terrestres móviles	31
II. 2.3 Sistema aéreos de detección de incendios	33
II. 2.4 Sistema de detección de incendios mediante videovigilancia.....	34
II. 2.5 Sistema de detección de incendios mediante laser	36
II. 2.5 Sistema de detección de incendios mediante satélite	37

II. 2.6 Sistema de detección mediante sensores inalámbricos.....	37
II. 2.7 Sistema de detección mediante cámaras infrarrojas	38
II. 3. Las redes neuronales artificiales (ANN)	41
II. 3.1. Conceptos básicos	41
II.3.2. Ventajas y limitaciones de las ANN	42
II.3.3. Aplicación de las ANN para modelación de incendios forestales	43
<i>Capítulo III</i>	47
Capítulo III: Caso de Estudio.....	49
III.1. Descripción del caso de estudio	49
III.1.1 Descripción de la Devesa	51
III.1.1.1 Reseña histórica de la Devesa	51
III.1.1.2 Descripción del medio físico	53
III.1.1.2.1 Encuadre geográfico	54
III.1.1.2.2 Hidrología	54
III.1.1.2.3 Descripción del clima	55
III.1.1.2.4 Geomorfología.....	55
III.1.1.2.5 Descripción de la vegetación.....	57
III.1.1.2.6 Enumeración de la fauna	67
III.1.1.2.7 Medio marino litoral	69
III.1.2. Caracterización de la Devesa como monte periurbano	70
III.1.2.1 Población.....	70
III.1.2.2 Medio socioeconómico.....	71
III.1.2.3 Edificios singulares dentro de la foresta	72
III.1.2.4 Recursos del dispositivo preventivo en la Devesa.....	75
III.1.2.5 Niveles de preemergencia en la Devesa	77
III.1.2.6 Mapa de riesgo de incendio en la Devesa	78
III.1.3 Descripción de la red neuronal	80

III.1.3.1 Variables utilizadas en la red probabilística	80
III.1.3.2. Fuentes de los datos	81
III.1.3.3 Elección de Inputs y Outputs de la red	83
III.1.3.4 Estructura de la red neuronal	84
III.1.3.5 Tratamiento numérico.....	85
III.1.3.6 Clasificación de los niveles de riesgo a partir de los resultados de la red ..	87
III.1.4 Sistema de detección de incendios mediante cámaras infrarrojas.....	88
III.1.4.1. Descripción del sistema	88
III.1.3.2 Método de análisis del sistema	96
III.2. Resultados del caso de estudio.....	98
III.2.1 Incendios forestales	98
III.2.1.1 Número, superficie quemada y causa de los incendios.....	98
III.2.1.2 Análisis de todos los incendios mediante red neuronal	104
III.2.1.2.1 Análisis de la distribución mensual de la probabilidad de incendios	104
III.2.1.2.2 Análisis de la influencia de las variables en la probabilidad de incendio	108
III.2.1.3 Análisis los incendios de más de 1 ha mediante red neuronal	111
III.2.1.3.1 Análisis de la distribución mensual de la probabilidad de incendios	111
III.2.1.3.2 Análisis de la influencia de las variables en la probabilidad de incendio	112
III.2.1.3.3 Validación de la Red Neuronal para incendios de más de 1 ha	114
III.2.1.3.3.1 Comparación de la red con los mapas de riesgo de AEMET	114
III.2.1.3.3.2 Comparación de la red con nueva red sin Input mensual	119
III.2.2 Sistema de detección de incendios mediante cámaras infrarrojas.....	121
III.2.2.1 Análisis de las alarmas y sucesos no reales.....	122
III.2.2.1.1 Distribución geográfica de las alarmas y sucesos no reales.....	125
III.2.2.1.1.1 Distribución geográfica de los sucesos no reales.....	125

III.2.2.1.1.2 Distribución geográfica de las alarmas no reales.....	134
III.2.2.1.1.3 Distribución horaria de las alarmas no reales	136
III.2.2.1.1.4 Distribución de las alarmas según cámara de detección	137
III.2.2.1.2 Correlaciones de las variables meteorológicas con las alarmas y sucesos no reales.....	139
III.2.2.1.2.1 Correlación alarmas no reales con temperatura media.....	140
III.2.2.1.2.2 Correlación alarmas no reales con velocidad de viento media diaria	141
III.2.2.1.2.3 Correlación alarmas no reales con velocidad de viento máxima diaria	142
III.2.2.1.2.4 Correlación alarmas no reales con humedad relativa media diaria	143
III.2.2.1.2.5 Correlación alarmas no reales con radiación media diaria	145
III.2.2.2 Análisis de las alarmas y sucesos reales	147
III.2.2.2.1 Distribución de incendios y de alarmas y sucesos reales.....	147
III.2.2.2.2 Características de incendios y de alarmas y sucesos reales.....	150
<i>Capítulo IV</i>	155
Capítulo IV: Aportaciones al caso de estudio.....	157
IV.1. Mejoras técnicas al caso de estudio	159
IV.1.1.- Descripción de las mejoras técnicas	159
IV.1.1.1.- Distribución de los medios de visión infrarroja	159
IV.1.1.1.1 Gola 4.....	159
IV.1.1.1.2 Gola 10.....	161
IV.1.1.1.3 Gola 26.....	162
IV.1.1.2.- Distribución de los medios de visión convencional	163
IV.1.1.3.- Sistemas de procesado de imagen térmica y comunicaciones.....	163
IV.1.1.4.- Servidores y centros de control	164
IV.1.2. Resultados de las mejoras técnicas.....	164

IV.1.2.1. Análisis de las alarmas no reales del nuevo sistema	165
IV.1.2.1.1 Distribución geográfica de las alarmas no reales del nuevo sistema	167
IV.1.2.1.2. Correlaciones de las variables meteorológicas con las alarmas no reales del nuevo sistema.....	171
IV.1.2.1.3. Distribución horaria de las alarmas no reales del nuevo sistema	173
IV.1.2.4 Distribución de alarmas no reales por cámara del nuevo sistema	173
IV.1.2.2 Análisis de las alarmas reales del nuevo sistema	175
IV. 2. Aportaciones metodológicas al caso de estudio	178
IV.2.1. Aplicación de la concatenación de 6 alarmas para definir un suceso real	178
IV.2.2 Aplicación del mapa de riesgo físico	180
IV.2.3Aplicación la red neuronal para incendios de más de 1 ha	183
IV.2.4 Aplicación combinada de los métodos de clasificación	185
<i>Capítulo V</i>	191
Capítulo V: Discusión y Conclusiones	193
V.1. Discusión de la influencia del sistema en el número de incendios	195
V.2. Discusión de la viabilidad económica del sistema	198
V.3. Conclusiones.....	200
V.3.1 Conclusiones del caso de estudio	200
V.3.2 Conclusiones a las mejoras del caso de estudio	201
V.3.3 Conclusiones generales	202
V.4. Discusión final.....	203
V.5. Futuras líneas de investigación	205
<i>Capítulo VI</i>	207
Capítulo VI: Referencias.....	209
<i>Anejos</i>	227
ANEJO 1:.....	229
Resumen de los datos de incendio en la Devesa durante la época de estudio	229

Índice de Figuras:

<i>Figura 1: Esquema general del documento.....</i>	<i>5</i>
<i>Figura 2: Zona IUF Clásica.....</i>	<i>15</i>
<i>Figura 3: Zona IUF de transición o intermix.....</i>	<i>15</i>
<i>Figura 4: Zona IUF aislada.....</i>	<i>16</i>
<i>Figura 5: Zona de IUF aislada.....</i>	<i>16</i>
<i>Figura 6: Caracterización de zona IUF durante un incendio.....</i>	<i>17</i>
<i>Figura 7: Enclave aislado.....</i>	<i>18</i>
<i>Figura 8: Enclaves dispersos.....</i>	<i>19</i>
<i>Figura 9: Núcleo compacto con masa forestal continua.....</i>	<i>20</i>
<i>Figura 10: Enclave de núcleo compacto con masa forestal sólo en el límite.....</i>	<i>20</i>
<i>Figura 11: Evolución de la incidencia de incendios forestales (número de siniestros y superficie afectada) durante el período 1961-2009.....</i>	<i>22</i>
<i>Figura 12: Evolución conatos e incendios 2003-2013.....</i>	<i>22</i>
<i>Figura 13: Evolución superficies forestales incendiadas 2003-2013.....</i>	<i>23</i>
<i>Figura 14: Mapa de la Albufera y su Devesa.....</i>	<i>53</i>
<i>Figura 15: Esquema efecto de cortas en distribución vegetación y formación en cuña.....</i>	<i>59</i>
<i>Figura 16: Fotografía de vegetación en cuña en inmediaciones urbanización Casbah.....</i>	<i>60</i>
<i>Figura 17: Primera línea frente al mar. Ejemplar de pino (Pinus halepensis) en formación cuña por efecto viento salino. Suelo cubierto por vegetación. Al fondo hotel Sidi-Saler.....</i>	<i>60</i>
<i>Figura 18: Primera línea frente al mar. Vegetación (Phillyrea angustifolia) en formación cuña por efecto viento salino. Suelo cubierto por vegetación. Al fondo hotel Sidi-Saler.....</i>	<i>61</i>
<i>Figura 19: Efecto de quemado en la vegetación por efecto de los vientos salinos.....</i>	<i>61</i>
<i>Figura 20: Esquema general de la distribución de la vegetación de la Devesa.....</i>	<i>62</i>
<i>Figura 21: Vegetación en primera línea (al fondo urbanización Casbah).....</i>	<i>63</i>
<i>Figura 22: Vegetación en segunda línea.....</i>	<i>65</i>
<i>Figura 23: Mallada.....</i>	<i>66</i>

<i>Figura 24: Carrizales</i>	<i>66</i>
<i>Figura 25: Distribución de Biotopos en la Albufera</i>	<i>67</i>
<i>Figura 26: Zonificación del riesgo de incendio en la Comunidad Valenciana durante la época de máximo riesgo</i>	<i>77</i>
<i>Figura 27: Mapa de Riesgo Físico en la Devesa.....</i>	<i>79</i>
<i>Figura 28: Dispersión de datos iniciales.....</i>	<i>82</i>
<i>Figura 29: Estructura de la red neuronal</i>	<i>84</i>
<i>Figura 30: Cámaras térmicas fija y móvil ubicadas en el edificio Gola nº 4, junto a panorámica de la zona vigilada.....</i>	<i>90</i>
<i>Figura 31: Cámara térmicas móvil y cámara de vídeo ubicadas en el edificio Gola nº 26 .</i>	<i>90</i>
<i>Figura 32: Panorámica de la zona vigilada desde la Gola 26.....</i>	<i>91</i>
<i>Figura 33: Cámara térmica móvil y de vídeo del Edificio Gola 10</i>	<i>91</i>
<i>Figura 34: Panorámica de la zona vigilada desde Gola 10</i>	<i>92</i>
<i>Figura 35: Plano ubicación de las cámaras (de arriba abajo G4, G10, G26).....</i>	<i>92</i>
<i>Figura 36: Visión de las cámaras del Sistema DISTER.....</i>	<i>93</i>
<i>Figura 37: Unidades de gestión y monitorización de alarmas situada en el Centro de Comunicaciones del Parque Central de Bomberos</i>	<i>94</i>
<i>Figura 38: Imágenes termográficas tomadas por el sistema. A izquierdas una Alarma No Real. A derechas una de las imágenes del incendio de marzo de 2008</i>	<i>94</i>
<i>Figura 39: Esquema del Sistema de detección de Incendios</i>	<i>95</i>
<i>Figura 40: Distribución mensual de incendios.....</i>	<i>98</i>
<i>Figura 41: Número de incendios según superficie quemada (m²).....</i>	<i>99</i>
<i>Figura 42: Porcentaje de incendios según superficie quemada (m²).....</i>	<i>99</i>
<i>Figura 43: Número de incendios según su origen</i>	<i>101</i>
<i>Figura 44: Porcentaje de incendios según su origen</i>	<i>101</i>
<i>Figura 45: Porcentaje de incendios según su origen (sin desconocidos)</i>	<i>102</i>
<i>Figura 46: Número de incendio que superan 1 ha según su origen</i>	<i>103</i>
<i>Figura 47: Distribución temporal de incendios que superan 1 ha</i>	<i>103</i>

<i>Figura 48: Distribución temporal de la probabilidad de incendio dada por la PNN y de número de incendios reales</i>	105
<i>Figura 49: Distribución temporal de los Niveles de Riesgo</i>	107
<i>Figura 50: Intervalos de probabilidad de incendio según mes del año</i>	109
<i>Figura 51: Distribución Temporal de la probabilidad de Incendio de más de 1 ha dada por la PNN y de número de incendios reales</i>	112
<i>Figura 52: Intervalo de probabilidad de incendio de más de 1 ha según mes del año</i>	113
<i>Figura 53: Ejemplo de Mapa de IRIF</i>	115
<i>Figura 54: Ejemplo de Mapa de Nivel de Riesgo según IFW</i>	116
<i>Figura 55: Índices mensuales porcentuales de la red para incendios de más 1 ha</i>	117
<i>Figura 56: Índices mensuales porcentuales IRIF</i>	118
<i>Figura 57: Comparación de probabilidad de incendios entre red sin input mensual y red con input mensual</i>	120
<i>Figura 58: Distribución temporal de alarmas y sucesos no reales mensuales</i>	122
<i>Figura 59: Distribución media mensual de alarmas no reales</i>	123
<i>Figura 60: Frecuencia del número de alarmas por sucesos no reales</i>	124
<i>Figura 61: Distribución temporal de la desviación media mensual de la coordenada X de los sucesos no reales y del número total de sucesos no reales</i>	125
<i>Figura 62: Distribución temporal de la desviación media mensual de la coordenada Y de los sucesos no reales y del número total de sucesos no reales</i>	126
<i>Figura 63: Distribución temporal de la media de la coordenada X de los sucesos no reales</i>	127
<i>Figura 64: Distribución temporal de la media de la coordenada Y de los sucesos no reales</i>	127
<i>Figura 65: Distribución espacial de todos los sucesos no reales</i>	128
<i>Figura 66: Distribución espacial de todos los sucesos no reales, entre el Tancat de la Creu y la Avenida de la Rambla</i>	129
<i>Figura 67: Distribución espacial de todos los sucesos no reales, entre la Avenida de la Rambla y el Núcleo 5</i>	129

<i>Figura 68: Distribución espacial de todos los sucesos no reales, entre el Núcleo 5 y la Gola del Pujol</i>	130
<i>Figura 69: Distribución espacial de todos los sucesos no reales, entre la Gola del Pujol y el Racó de l'Olla</i>	130
<i>Figura 70: Distribución espacial de todos los sucesos no reales, entre el Racó de l'Olla y Devesa Gardens</i>	131
<i>Figura 71: Distribución espacial de todos los sucesos no reales, entre Devesa Gardens y Gola del Perellonet</i>	131
<i>Figura 72: Fotografía a fecha octubre 2010 de la Mallada Larga</i>	133
<i>Figura 73: Edificio del grupo electrógeno de la Gola del Pujol</i>	134
<i>Figura 74: Frecuencia de coordenadas X de alarmas no reales</i>	135
<i>Figura 75: Frecuencia de coordenadas Y de alarmas no reales</i>	135
<i>Figura 76: Distribución espacial de todas las Alarmas No Reales</i>	136
<i>Figura 77: Distribución horaria de Alarmas No Reales</i>	137
<i>Figura 78: Porcentaje de detección de alarmas no reales según cámara</i>	138
<i>Figura 79: Distribución temporal de detección de alarmas no reales según cámara</i>	139
<i>Figura 80: Temperatura media diaria normalizada frente a alarmas no reales medias diarias normalizadas</i>	140
<i>Figura 81: Velocidad del viento media diaria normalizada frente a alarmas no reales medias diarias normalizadas</i>	141
<i>Figura 82: Velocidad del viento máxima diaria normalizada frente a alarmas no reales medias diarias normalizadas</i>	142
<i>Figura 83: Humedad relativa media diaria normalizada frente a alarmas no reales medias diarias normalizadas</i>	143
<i>Figura 84: Humedad relativa media diaria normalizada frente a sucesos no reales</i>	144
<i>Figura 85: Radiación media diaria normalizada frente a alarmas no reales medias diarias normalizadas</i>	146
<i>Figura 86: Distribución espacial de incendios y alarmas reales</i>	149
<i>Figura 87: Porcentaje de tipo de alarma inicial de incendio</i>	153

<i>Figura 88: Porcentaje de tipo de alarma total de incendio.....</i>	<i>154</i>
<i>Figura 89: Detalle de las cámaras infrarrojas de Gola 4 tras las mejoras técnicas.....</i>	<i>160</i>
<i>Figura 90: Detalle de las cámaras infrarrojas de Gola 10 tras las mejoras técnicas.....</i>	<i>161</i>
<i>Figura 91: Detalle de las cámaras infrarrojas de Gola 26 tras las mejoras técnicas.....</i>	<i>162</i>
<i>Figura 92: Distribución temporal de alarmas no reales del nuevo sistema</i>	<i>165</i>
<i>Figura 93: Comparación de las alarmas no reales medias mensuales dadas por ambos sistemas.....</i>	<i>166</i>
<i>Figura 94: Distribución geográfica de las alarmas generadas por el nuevo sistema</i>	<i>167</i>
<i>Figura 95: Comparación de las alarmas no reales generadas por ambos sistemas, a la izquierda las generadas por el antiguo sistema, a la derecha las generadas por el nuevo sistema</i>	<i>168</i>
<i>Figura 96: Distribución geográfica mensual de las alarmas del nuevo sistema</i>	<i>169</i>
<i>Figura 97: Distribución geográfica de las alarmas del nuevo sistema durante el mes de febrero.....</i>	<i>170</i>
<i>Figura 98: Humedad media diaria normalizada frente a alarmas no reales medias diarias normalizadas del nuevo sistema.....</i>	<i>172</i>
<i>Figura 99: Humedad media diaria normalizada frente a alarmas no reales medias diarias normalizadas del nuevo sistema.....</i>	<i>172</i>
<i>Figura 100: Distribución horaria de alarmas no reales del nuevo sistema</i>	<i>173</i>
<i>Figura 101: Distribución de alarmas no reales del nuevo sistema según cámara de detección</i>	<i>174</i>
<i>Figura 102: Distribución geográfica de alarmas reales del nuevo sistema durante el incendio del 8/8/2011</i>	<i>176</i>
<i>Figura 103: Captura termográfica del incendio del 8/8/2011 a los 10 minutos de iniciarse</i>	<i>177</i>
<i>Figura 104: Comparación entre la distribución geográfica del total de alarmas (izquierda) y el total de alarmas a partir de 6 consecutivas (derecha)</i>	<i>179</i>
<i>Figura 105: Plano riesgo físico sobre ortofoto</i>	<i>181</i>

<i>Figura 106: Distribución geográfica del total de alarmas a partir de 6 consecutivas en zona de riesgo físico alto o muy alto</i>	<i>182</i>
<i>Figura 107: Desglose de las alarmas del nuevo sistema en función del riesgo de incendio diario arrojado por la red neuronal para incendios de más de 1 ha</i>	<i>185</i>
<i>Figura 108: Distribución geográfica de las alarmas del nuevo sistema sobre mapa de riesgo físico; de izquierda a derecha: todas alarmas nuevo sistema, sólo más de seis alarmas consecutivas, sólo más de seis alarmas consecutivas con riesgo físico alto o muy alto</i>	<i>186</i>
<i>Figura 109: Alarmas con nivel combinado de izquierda a derecha: 0 y 1</i>	<i>188</i>
<i>Figura 110: Alarmas con nivel combinado de izquierda a derecha: 3 y 6</i>	<i>188</i>
<i>Figura 111: Alarmas con nivel combinado de izquierda a derecha: 7, 14</i>	<i>189</i>
<i>Figura 112: Izquierda: Alarmas nivel combinado 14; Derecha: Alarmas nivel combinado 14, con alarmas reales en azul</i>	<i>190</i>
<i>Figura 113: Total incendios de más de 1 ha por año en la Devesa de Valencia durante la época estudiada.....</i>	<i>195</i>
<i>Figura 114: Total incendios de más de 1 ha por año en la Devesa de Valencia serie histórica</i>	<i>196</i>
<i>Figura 115: Distribución anual del total de conatos e incendios en la zona</i>	<i>197</i>
<i>Figura 116: Distribución anual del total de conatos e incendios en la zona serie histórica</i>	<i>198</i>

Índice de Tablas:

<i>Tabla 1: Clasificación de detectores de infrarrojo</i>	<i>39</i>
<i>Tabla 2: Edificios singulares en la Devesa</i>	<i>73</i>
<i>Tabla 3: Viviendas situadas dentro de la Devesa</i>	<i>74</i>
<i>Tabla 4: Inputs de la red neuronal.....</i>	<i>83</i>
<i>Tabla 5: Outputs de la red neuronal.....</i>	<i>83</i>
<i>Tabla 6: Clasificación de los niveles de riesgo en función de la desviación típica de los resultados de la red neuronal</i>	<i>87</i>
<i>Tabla 7: Número de incendios según superficie quemada (m²)</i>	<i>99</i>
<i>Tabla 8: Número de incendios según su origen.....</i>	<i>100</i>
<i>Tabla 9: Número de Incendio que superan 1 ha según su Origen</i>	<i>102</i>
<i>Tabla 10: Distribución temporal de la probabilidad de incendio dada por la PNN y de número de incendios reales</i>	<i>105</i>
<i>Tabla 11: Clasificación de los niveles de riesgo según la desviación típica de los resultados de la PNN.....</i>	<i>106</i>
<i>Tabla 12: Correlaciones entre probabilidad de incendio dada por la red e inputs introducidos.....</i>	<i>109</i>
<i>Tabla 13: Distribución temporal de la probabilidad de incendio de más de 1 ha dada por la PNN y de número de incendios reales.....</i>	<i>111</i>
<i>Tabla 14: Correlaciones entre prob. incendio más 1 ha e inputs de la red</i>	<i>113</i>
<i>Tabla 15: Comparación de resultados de Red Neuronal para incendios de más de 1 ha con índices de riesgos facilitados por AEMET</i>	<i>116</i>
<i>Tabla 16: Ejemplo de un conjunto de alarmas no reales que definen un suceso no real ..</i>	<i>121</i>
<i>Tabla 17: Estadísticos descriptivos de la correlación de temperatura media diaria normalizada y alarmas no reales medias diarias normalizadas.....</i>	<i>141</i>
<i>Tabla 18: Estadísticos descriptivos de la correlación de velocidad de viento media diaria normalizada y alarmas no reales medias diarias normalizadas.....</i>	<i>142</i>
<i>Tabla 19: Estadísticos descriptivos de la correlación de velocidad de viento máxima diaria normalizada y alarmas no reales medias diarias normalizadas.....</i>	<i>143</i>

<i>Tabla 20: Estadísticos descriptivos de la correlación de humedad relativa media diaria normalizada y alarmas no reales medias diarias normalizadas.....</i>	<i>144</i>
<i>Tabla 21: Estadísticos descriptivos de la correlación de humedad relativa media diaria normalizada y sucesos no reales medios diarios normalizados.....</i>	<i>145</i>
<i>Tabla 22: Estadísticos descriptivos de la correlación de radiación media diaria normalizada y alarmas no reales medias diarias normalizadas.....</i>	<i>146</i>
<i>Tabla 23: Incendios producidos durante el periodo de estudio del sistema de cámaras infrarrojas.....</i>	<i>148</i>
<i>Tabla 24: Clasificación de los incendios producidos durante el periodo de estudio del sistema de detección de incendios mediante infrarrojos en función de la superficie quemada</i>	<i>151</i>
<i>Tabla 25: Clasificación de los Incendios producidos durante el periodo de estudio en función de la vegetación quemada.....</i>	<i>151</i>
<i>Tabla 26: Clasificación de los incendios producidos durante el periodo de estudio dentro de la zona forestal de la Devesa en función de la superficie quemada.....</i>	<i>152</i>
<i>Tabla 27: Clasificación de los incendios producidos durante el periodo de estudio dentro de la zona forestal de la Devesa en función de la vegetación quemada.....</i>	<i>152</i>
<i>Tabla 28: Número de alarmas reales que definió cada suceso real.....</i>	<i>153</i>
<i>Tabla 29: Correlación entre alarmas no reales del nuevo sistema y la radiación y humedad.....</i>	<i>171</i>
<i>Tabla 30: Incendios dados durante la época de estudio del nuevo sistema.....</i>	<i>175</i>
<i>Tabla 31: Comparación entre el total de alarmas del nuevo sistema y el total de alarmas a partir de 6 consecutivas.....</i>	<i>179</i>
<i>Tabla 32: Siete primeras alarmas del nuevo sistema en el incendio del 8/08/2011.....</i>	<i>180</i>
<i>Tabla 33: Comparación entre total de alarmas, total de alarmas a partir de 6 consecutivas y total de alarmas a partir de 6 consecutivas con nivel de riesgo físico alto o muy alto.....</i>	<i>182</i>
<i>Tabla 34: Comparación entre el total de alarmas, el total de alarmas a partir de 6 consecutivas, el total de alarmas a partir de 6 consecutivas con nivel de riesgo físico alto o muy alto y el total de alarmas a partir de 6 consecutivas con nivel de riesgo físico muy alto.....</i>	<i>183</i>
<i>Tabla 35: Alarmas en función del nivel de riesgo de incendio arrojado por la red neuronal para las fechas del nuevo sistema.....</i>	<i>184</i>

<i>Tabla 36: Clasificación en niveles de riesgo combinados.....</i>	<i>187</i>
<i>Tabla 37: Total de alarmas del nuevo sistema en función del nivel combinado de riesgo</i>	<i>187</i>
<i>Tabla 38: Clasificación en reales y no reales del total de alarmas con nivel de riesgo combinado 14.....</i>	<i>190</i>
<i>Tabla 39: Niveles de Riesgo Combinados.....</i>	<i>194</i>

NOTACIÓN

<i>Símbolo</i>	<i>Significado</i>
x	<i>dato a normalizar</i>
M	<i>máximo de toda la serie de datos</i>
α	<i>coeficiente para la reducción del sesgo</i>
w_{ij}	<i>pesos de la capa oculta (valores del ejemplar)</i>
σ	<i>desviación típica de la función gaussiana</i>
δ	<i>desviación típica de los resultados de entrenamiento</i>
χ	<i>media de los resultados de entrenamiento</i>
r	<i>coeficiente de Pearson</i>
σ_{XY}	<i>covarianza de (X,Y)</i>

Capítulo I
Introducción



Capítulo I: Introducción

En el presente apartado se expondrá la motivación por la que surgió la idea de elaboración de la Tesis, enumerándose tanto los objetivos que ésta persigue como los diferentes apartados que forman el documento, haciendo un somero resumen de cada uno de ellos.

I.1. Motivación de la investigación

Hablar de incendios forestales es hablar de un fenómeno intrínseco en la naturaleza, que no ha de tener por sí mismo una connotación negativa. De hecho, muchas especies de las que existen en nuestros ecosistemas han evolucionado adaptándose a los incendios forestales, haciendo de esta adaptación una característica ventajosa frente al resto de especies, que ha propiciado su preponderancia en muchos de nuestros montes.

El ser humano no sólo aprendió a convivir con los incendios, sino que pronto empezó a utilizar el fuego como herramienta para erradicar aquellas especies vegetales que no eran de su interés, creando con este fuego lugares donde establecer zonas agrícolas o pastizales para la ganadería.

En España la propia explotación que de los montes se venía haciendo, bien mediante el aprovechamiento maderero, bien mediante el pastoreo extensivo; hacía que hubiera muy poco combustible disponible en caso de incendio forestal, por lo que durante la mayor parte de nuestra historia este tipo de incendios carecían del carácter catastrófico que se les atribuye en la actualidad. Por otro lado, el aprovechamiento agrícola de la mayoría de los lindes de las poblaciones hacía que, en caso de desarrollarse un incendio de forma descontrolada, apenas hubiera riesgo para la población ya que éste era incapaz de avanzar por las eras, campos de cultivo o huertas que se extendían alrededor de las zonas habitadas, impidiendo así que el fuego se acercase a las viviendas.

Sin embargo todo empezó a cambiar con el desarrollo industrial de España y con el abandono de las zonas agrícolas por parte de la población. El hecho de que cada vez haya menos aprovechamiento ganadero y maderero de nuestros montes ha provocado un elevado aumento de la cantidad de combustible disponible en caso de incendio forestal. A lo cual se une la cada vez menor actividad agrícola, que provoca que terrazas, campos secos de cultivo, huertas e incluso campos de regadío de cítricos o frutales, estén actualmente

invadidos por matorrales que, en caso de incendio, se convierten en fuertes vectores de propagación del fuego.

Si a este conjunto de variables le añadimos la proliferación de urbanizaciones en antiguas zonas rurales, rodeadas de montes sin explotar, y la cada vez mayor proliferación del turismo de fin de semana en montes por parte de urbanitas que desconocen la problemática real de los incendios forestales; obtenemos como resultado que cuando un incendio se produce, éste puede crecer rápidamente de forma descontrolada (por la elevada cantidad de combustible disponible) hacia zonas habitadas (bien nuevas urbanizaciones rurales, bien poblaciones rodeadas de campos de cultivo abandonados) provocando situaciones de elevado peligro, en donde en numerosas ocasiones se pierden vidas humanas.

A este peligro de cara a la población hay que añadir las dañinas consecuencias medioambientales que conllevan estos incendios, ya que si estos alcanzan elevadas temperaturas pueden deformar de forma irreversible la estructura del suelo, impidiendo a las especies que fijan el suelo asentarse sobre el mismo; produciéndose así el riesgo de desertificación en la zona a largo plazo, o de la colmatación de los embalses de las cuencas en el corto-medio plazo. Junto a este riesgo, los incendios provocan además desplazamiento de la fauna autóctona, así como la emisión de una elevada cantidad de gases de efecto invernadero a la atmósfera.

A la vista de todo este conjunto de peligros, tanto de cara a la población como medioambientales, y del hecho de que estos peligros se deriven de una cuestión sociológica como es la migración de la población desde los núcleos rurales a los núcleos urbanos; la problemática de los incendios forestales ha pasado a ser una cuestión de índole política, que engloba aspectos tan diversos como selvicultura forestal, políticas rurales y agrarias, educación a la población, prevención y planes de autoprotección, vigilancia medioambiental, detección y extinción de incendios... y en donde se ven implicados órganos de diferentes ministerios, comunidades autónomas, diputaciones y ayuntamientos, así como organismos y empresas privadas.

Con todo, una de las principales bazas en la que los diferentes gobiernos han ido apostando ha sido la de la extinción; y, pese a que en los últimos años de crisis la cantidad de personal disponible en la lucha contra el fuego ha bajado, sí que se puede afirmar que en las últimas décadas ha habido un significativo aumento del número de unidades y vehículos

destinados a la lucha contra el fuego, tanto terrestres como aéreos; creándose incluso un cuerpo militar específico que tiene entre sus funciones la lucha contra los incendios forestales.

Sin embargo, cada vez son más las voces que claman por un cambio de política que apueste menos por la extinción y más por la prevención y detección temprana de los incendios. Ya que la movilización de todo este personal no es inmediata, y si los montes tienen gran carga de combustible y se tarda en detectar el inicio del incendio, para cuando las unidades llegan al fuego éste puede estar tan avanzado que requiera de otras estrategias diferentes al ataque directo.

A su vez, la cada vez mayor presencia de urbanizaciones en ámbito rural y forestal, hace que la detección temprana de conatos en estas áreas sea primordial, debido a que un incendio descontrolado en estas zonas, sin que sea necesario que éste alcance grandes dimensiones, puede provocar elevados daños materiales y personales; así como situaciones de pánico entre la población que se repiten prácticamente cada verano.

Es por ello que en los últimos años, gracias al avance de la tecnología, se ha desarrollado una multitud de diferentes técnicas para la detección de incendios forestales. Muchas de estas técnicas son elaboradas fuera del ámbito forestal o de extinción de incendios: en departamentos universitarios en donde se crean prototipos, gracias a los cuales se redactan cantidad de artículos científicos de investigación; pero que en pocas ocasiones son llevadas a la práctica en el campo, y aún son menos las que tras su puesta en campo son mantenidas durante un periodo de tiempo lo suficientemente largo como para detectar fuentes de fallos ajenas a las propias variables establecidas en el prototipo.

Precisamente esta es la motivación de la presente Tesis, el análisis de una técnica determinada de detección de incendios forestales, concretamente la detección de incendios mediante infrarrojos, la cual lleva puesta en campo durante más de diez años; con el objetivo de analizar la bondad del sistema, y proponer mejoras al mismo.

1.2. Objetivos

El presente trabajo tiene dos objetivos principales; el primero consiste en el análisis del sistema de detección de incendios forestales mediante infrarrojos situado en la Devesa de la Albufera de Valencia; para ello no sólo se centrará el estudio en el sistema en sí, sino que se abordará toda la problemática de incendios en la zona, realizando tanto un estudio del medio,

como un análisis histórico de los incendios a través de una red neuronal probabilística. Así pues, este primer objetivo principal puede subdividirse en varios objetivos particulares:

- 1.1. Estudio del sistema de detección de incendio instalado en la zona:
 - a. Análisis de falsas alarmas:
 - i. Distribución geográfica de falsas alarmas
 - ii. Distribución horaria de falsas alarmas
 - iii. Distribución por cámara de detección de falsas alarmas
 - iv. Correlación de falsas alarmas con variables meteorológicas
 - b. Análisis de alarmas reales:
 - i. Distribución de alarmas reales
 - ii. Características de los incendios que producen alarmas reales
- 1.2. Recopilación histórica de los incendios ocurridos en la Devesa de la Albufera de Valencia
- 1.3. Análisis de los conatos de incendio mediante red neuronal:
 - a. Distribución temporal de los mismos
 - b. Influencia de las variables meteorológicas
- 1.4. Análisis de los incendios de más de una hectárea ocurridos en la Devesa de la Albufera de Valencia:
 - Distribución temporal de los mismos
 - Influencia de las variables meteorológicas

Una vez alcanzado este conjunto de objetivos particulares, se abordará el segundo objetivo principal, que no es otro que la propuesta de mejoras al sistema basadas en los resultados obtenidos del análisis realizado; y, una vez realizadas estas propuestas, llevarlas a la práctica y analizarlas para ver si realmente mejoran la eficiencia del sistema de detección de incendios. Por tanto, este segundo objetivo principal también se puede subdividir en objetivos particulares:

- 2.1. Mejoras técnicas:
 - a. Mejora de los medios de visión infrarroja
 - b. Mejora de los medios de visión convencional
 - c. Mejora del sistema de procesamiento de imágenes, comunicaciones, servidores y centro de control
 - i. Análisis de los resultados de las mejoras técnicas

2.2. Mejoras metodológicas:

- a. Aplicación de filtrado automático de alarmas
- b. Aplicación de mapa de riesgo físico
- c. Aplicación de red neuronal
- d. Aplicación de método de riesgo combinado
 - i. Análisis de los resultados de las mejoras metodológicas

2.3. Análisis de la influencia del sistema en el número de incendios y de su viabilidad económica

I.3. Contenido y estructura de la Tesis

El presente documento difiere de la estructura habitual de las Tesis Doctorales, debido a que, por su propia naturaleza, se ha creído más conveniente adaptar otro tipo de estructura. A modo esquemático esta es la estructura elegida:

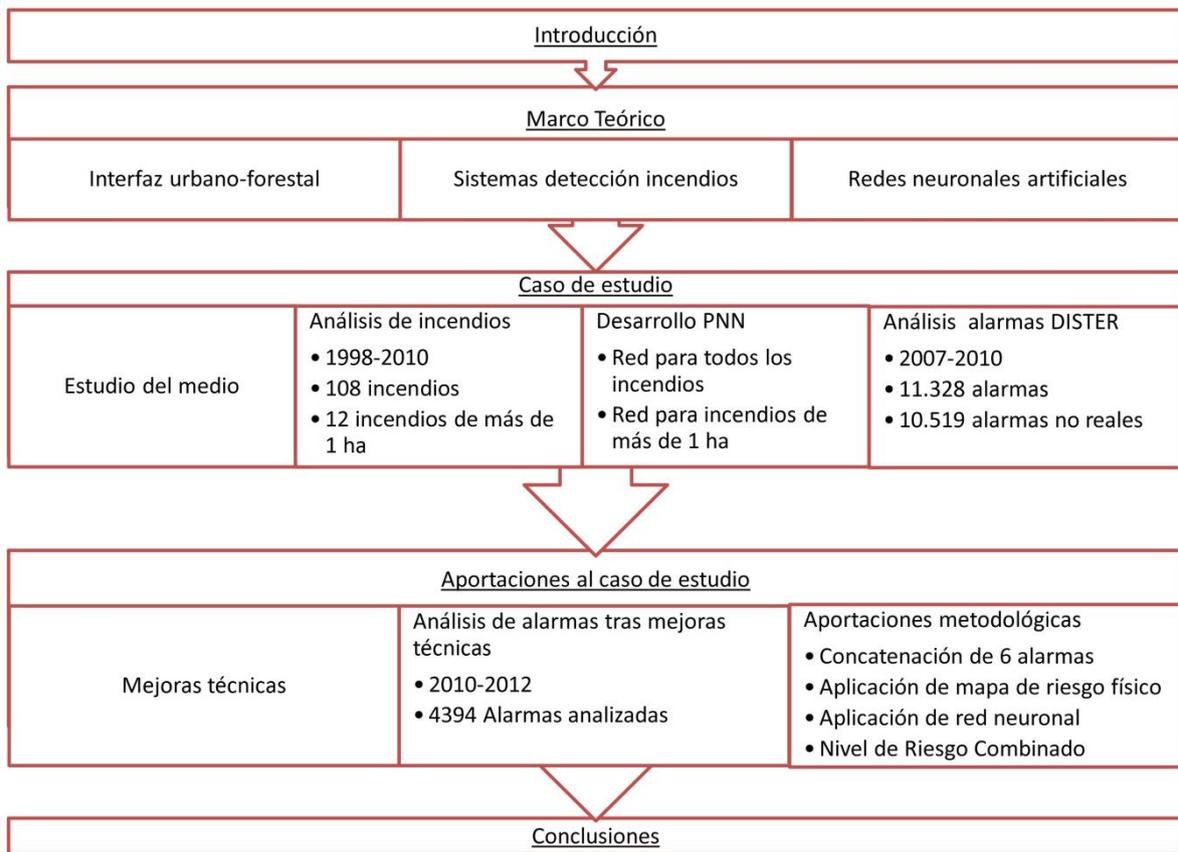


Figura 1: Esquema general del documento

Fuente: Elaboración propia

Este primer capítulo denominado **Introducción**, sirve para explicar la motivación del tema de estudio de la Tesis, y presenta los objetivos que esta pretende alcanzar y la estructuración de la misma.

El segundo capítulo, denominado **Marco teórico**, sirve de base para explicar los tres conceptos fundamentales sobre los que se asienta el presente estudio, esto es: la problemática de las zonas de interfaz urbano-forestal, el estado actual de los sistemas de detección temprana de incendios forestales, y las redes neuronales como herramienta matemática para el estudio de fenómenos ambientales.

En el tercer capítulo de la Tesis, denominado **Caso de estudio**, se presenta el caso de estudio en el que se basa este trabajo. Para ello, primero se realiza la descripción del medio de la Devesa de la Albufera, para lo cual se realiza una pequeña reseña histórica, una descripción del medio físico, una descripción del medio marino litoral y una descripción de las características que hacen de la Devesa de la Albufera un monte periurbano con componentes propias de interfaz urbano-forestal. Una vez analizada la zona de estudio, se pasa a describir la red neuronal probabilística desarrollada para el análisis de los incendios acaecidos en la Devesa; para posteriormente analizar el sistema allí instalado de detección de incendios mediante infrarrojos. Una vez descrito todo el caso de estudio, se presentan los resultados obtenidos del mismo, es decir, se presentan los resultados del análisis del histórico de incendios y del sistema de detección de incendios mediante infrarrojos.

En el cuarto capítulo, llamado **Aportaciones al caso de estudio**, se realiza una serie de mejoras técnicas y se proponen una serie de aportaciones metodológicas a fin de optimizar los resultados del sistema de detección de incendios y, una vez propuestas, se llevan a cabo en la práctica para analizar si estas propuestas realmente optimizan la detección de incendios.

En el quinto y último capítulo, llamado **Discusión y conclusiones**, se discute acerca de la influencia que el sistema ha tenido en la existencia de incendios en la zona, así como acerca de la viabilidad económica del mismo. Posteriormente, se enumeran las conclusiones obtenidas tanto del análisis del caso de estudio, como del análisis de las mejoras propuestas. A continuación, se presentan las conclusiones generales obtenidas del presente trabajo y se realiza una discusión final a partir de las conclusiones alcanzadas. Finalmente, se propone una serie de futuras líneas de investigación a realizar en este campo de estudio y se adjunta un anejo con los datos de los incendios ocurridos en la zona durante el periodo de estudio.

Cabe destacar que, debido a la gran cantidad de datos que se manejan en este estudio, y aun a riesgo de parecer reiterativo, en determinados puntos estratégicos del documento se ha procedido a realizar una recapitulación del trabajo realizado y de los resultados obtenidos, con el objeto de facilitar la lectura del documento, y de ayudar a que el lector esté preparado para afrontar el siguiente bloque de información.

Finalmente, indicar que todas las ortofotos utilizadas para realizar el posicionamiento SIG de las alarmas analizadas durante este trabajo provienen del servidor de acceso público dispuesto por el Instituto Cartográfico Valenciano.

Capítulo II
Marco teórico



Capítulo II. Marco teórico

En el presente capítulo se abordarán los tres aspectos que se interrelacionan en esta Tesis a la hora de implementar el modelo de clasificación de alarmas desarrollado en la misma. Así pues, se tratará de establecer una definición de zona de interfaz urbano-forestal, detallando las diferentes características intrínsecas que estas áreas poseen y que las hacen tener una problemática concreta, que difiere de las zonas forestales al uso.

Por otro lado, se abordarán los diferentes sistemas de detección temprana de incendios forestales que existen en la actualidad, detallando las ventajas y limitaciones que posee cada uno de ellos.

Finalmente, se expondrán las bases en las que se fundamentan las redes neuronales artificiales y el uso que de éstas se está haciendo para la modelización de riesgo de incendio.

II.1. Zona de interfaz urbano-forestal

El concepto de interfaz urbano-forestal (IUF) no tiene una definición única aceptada a nivel internacional, si bien sí que ha sido definido por diferentes organismos, los cuales han intentado unificar criterios a fin de abordar sus particularidades. A continuación se exponen tres definiciones de organismos oficiales:

- FAO: la define como la zona de transición entre ciudades y zonas salvajes y/o zonas de estructuras y otros desarrollos humanos que coinciden con áreas salvajes o zonas de combustible vegetal ([Anejo 3 FAO, 2007](#))
- Departamento de Agricultura e Interior de Estados Unidos: la define como el área donde las viviendas y otras estructuras antrópicas se encuentran con combustibles vegetales ([USDA and USDI, 2001](#))
- Sociedad Española de Ciencias Forestales: la define como la zona donde se encuentran o mezclan viviendas y otras estructuras antrópicas con vegetación forestal y otros combustibles vegetales, lo que requiere un modelo de protección distinto del que se aplica en el terreno forestal ([SECF, 2005](#)).

De las definiciones anteriores se deduce que existe una base común en el concepto de interfaz urbano-forestal, este es, aquellas áreas donde la superficie forestal se encuentra con estructuras de origen antrópico, si bien existen pequeñas diferencias en los detalles; diferencias que se ven reflejadas en la legislación que se debe de aplicar en estas zonas, esto

es fácilmente comprobable en el caso de España, en donde existe una legislación nacional que establece unos mínimos básicos que las comunidades autónomas pueden desarrollar pero nunca incumplir; esto ha llevado a casos extremos como el de Asturias en donde no se ha desarrollado ningún tipo de legislación propia y se rige bajo los mínimos de la normativa nacional, o a los de las comunidades de Cataluña o Extremadura donde existe una legislación autónoma que aborda esta cuestión de manera más profunda ([Herrero, 2011](#)).

Así pues, el concepto de interfaz urbano-forestal es difícilmente explicable de manera escueta en una frase, ya que debido a los múltiples factores que engloba como zona de encuentro entre masa forestal y estructuras de origen antrópico, debe ser definido abordando toda su magnitud a fin de poder entender todos los riesgos que los incendios en estas zonas pueden tener, así como la dificultad con la que se encuentran los medios de extinción cuando un incendio forestal se da en estas áreas de interfaz, o bien cuando el incendio avanza desde zonas forestales al uso hacia este tipo de zonas.

II.1.1. El concepto de interfaz

La idea de interfaz urbano-forestal ha sido asimilada desde el concepto anglosajón *Wildland-Urban Interface*. Y si bien este concepto es una traducción directa del inglés, sigue siendo válido ya que en el español viene recogida la idea de “interfaz” definiéndose como la conexión o frontera común entre dos sistemas; esta idea de “frontera” alude a un territorio que tiene la potencialidad de ser delimitado espacialmente e involucra no sólo al límite de separación sino también al espacio de contacto o territorio compartido en donde se produce la integración de varios sistemas entre los que se establecen intercambios sociales, culturales, económicos, políticos, etc. ([Lévy and Lussault, 2003](#)).

Es por ello que este concepto de interfaz en principio se vincula automáticamente a una materialización geográfica en el terreno, a una división de la superficie entre dos medios distintos que se encuentran; sin embargo no sólo puede ser interpretado como una materialización física, de hecho diversos autores la interpretan como una interacción de distintas fuerzas o procesos que no tienen por qué tener un reconocimiento espacial ([Tacoli, 1998, laquinta and Drescher, 2001 cit en Lynch, 2005](#)).

Otros autores centran su visión de interfaz en el hecho de la participación de diferentes sistemas conformantes de la interfaz en sí, dando lugar a una gran variedad de espacios de interfaz; así pues, se puede hablar de interfaces tierra-agua (riberas fluviales, litoral marino,

etc.) o entre distintos sistemas terrestres (espacios agrícolas y naturales, ciudades y espacios rurales) ([Lévy and Lussault, 2003](#)).

No obstante, la acepción más adecuada para la definición de interfaz, dentro del ámbito de la presente Tesis, es la que se refiere a la coincidencia espacial de dos subsistemas territoriales (el social o urbano y el rural o forestal) y las interacciones que se establecen entre ambos medios ([Herrero, 2011](#)), utilizándose el concepto interfaz urbano-forestal para referirse a la zona geográfica donde confluyen estructuras y procesos propios de medios urbanos con medios forestales, y que en consecuencia tienen una casuística en relación con los incendios mixta, que hace que se genere una alarma social muy elevada cuando los incendios confluyen en estas zonas en comparación con la producida con la que se genera en los incendios forestales al uso.

Esto hace que cada comunidad, en función de su conformación y de los medios disponibles, tenga una visión propia de la definición de interfaz, las fuerzas que influyen en su configuración y las oportunidades o necesidades que genera ([Monroe et al., 2003](#)). Siendo las consecuencias económicas, sociales y políticas (de planificación y regulación) que se deriven de esa interpretación las que verdaderamente conforman y caracterizan el espacio de interfaz concreto ([Hull and Stewart, 2003](#); [Paveglio et al., 2009](#)).

El conjunto de todas estas cuestiones, hace que no exista una única definición de interfaz, sino que ésta se defina en función de los medios que intervengan en la misma ([Herrero, 2011](#)).

II.1.2. Definiciones de interfaz urbano-forestal

II.1.2.1. IUF definida desde consideración de los recursos naturales

Atendiendo a los recursos naturales, la IUF se define como un área donde el incremento de la influencia humana y el cambio del uso del suelo, están modificando los recursos, servicios y técnicas de gestión del medio natural ([Macie and Hermansen, 2002](#)). Ya que el aumento de la ocupación humana del territorio forestal, induce una serie de cambios que alteran el ciclo hidrológico, la erosión del suelos, introducción de nuevas especies y ocurrencia de incendios ([Zipperer et al., 2000](#); [Nowak et al., 2005](#)).

Así pues, bajo el punto de vista de los medios naturales, la IUF deja de ser un espacio geográfico de encuentro entre dos medios distintos, el forestal y el urbano, para pasar a ser un

conjunto de condiciones que afectan a los recursos naturales y a cómo éstos pueden ser gestionados.

II.1.2.2. IUF definida desde la consideración sociopolítica

Dada la evolución de nuestra sociedad hacia un mayor envejecimiento, hacia una mayor diversidad étnica y cultural, así como hacia una polarización de la población hacia las ciudades en detrimento de los entornos rurales, se entiende que las actitudes y valores hacia el uso y gestión de los recursos también varíen hacia unas perspectivas diferentes ([Hull and Stewart, 2003](#)). En consecuencia, los intereses dominantes en el medio natural de antaño, tales como la explotación maderera, el pastoreo, la caza o el aprovechamiento agrícola, van perdiendo importancia frente a puntos de vista más urbanitas tales como la conservación paisajística, de la vida salvaje y, en ciertos casos, la propiedad privada de los terrenos adyacentes a las viviendas.

Consecuentemente la IUF, desde un punto de vista sociopolítico, pasa de ser un mero encuentro geográfico de masa forestal con estructuras antrópicas, para pasar a ser un área donde existen grupos sociales y fuerzas políticas con diferentes percepciones, valores e intereses respecto al uso y aprovechamiento del medio, pudiéndose dar en consecuencia situaciones de conflicto ([Vaux, 1982](#); [Egan and Luloff, 2000](#)).

II.1.2.3. IUF definida desde la consideración geográfica

A diferencia de lo planteado hasta el momento, desde el punto de vista geográfico, la IUF se define atendiendo a su ubicación espacial y a su vinculación con el entorno adyacente en donde se localiza; con estas premisas se puede subdividir la definición de IUF en función de la organización del territorio que ésta suponga, así como en función de las distintas configuraciones tanto urbano como forestales que se encuentren en dicha interfaz. Así pues, esta definición geográfica permite distinguir entre diferentes categorías de interfaz ([USDA and USDI, 2001](#); [Radeloff et al., 2005](#)):

- Clásica: constituida por el borde del uso urbano en contacto con el medio forestal



Figura 2: Zona IUF Clásica

Fuente: <http://www.gfc.state.ga.us/community-forests/wui/>

- Intermix o zona de transición entre el medio urbano y forestal: donde no es posible distinguir una línea de contacto sino una mezcla de ambos usos

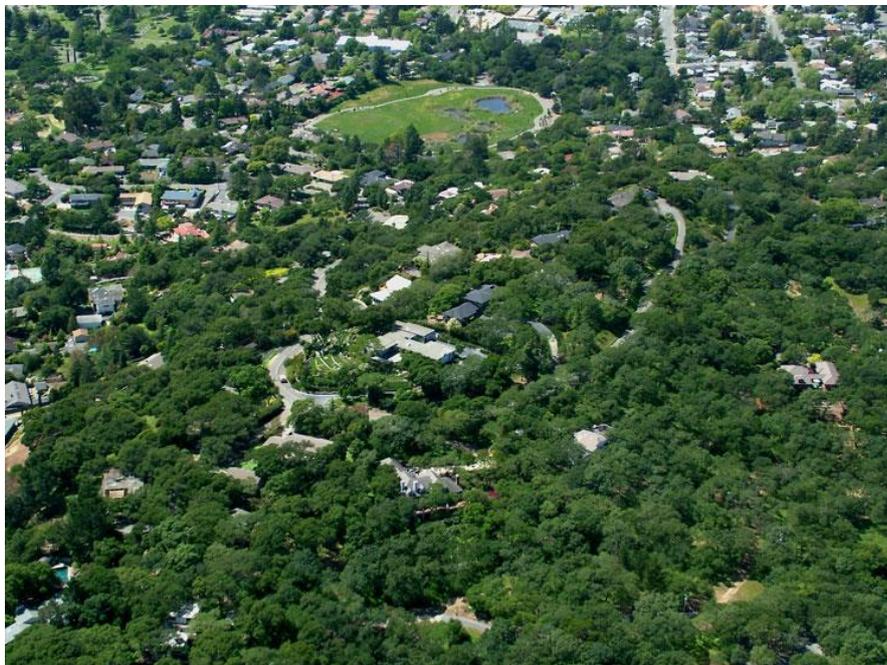


Figura 3: Zona IUF de transición o intermix

Fuente: www.napafirewise.org

- Aislada: formada por estructuras apartadas y rodeadas por extensas superficies forestales



Figura 4: Zona IUF aislada

Fuente: www.fs.fed.us

- Isla: constituida a partir de áreas con características naturales que se encuentran inmersas en espacios urbanos; estas islas de suelo no urbanizable se dan a lo largo de corredores fluviales o de espacios protegidos que se aíslan entre el crecimiento conjunto de ciudades que dejan bosques remanentes ([Macie and Hermansen, 2002](#)). Esta podría aceptarse como definición del caso de estudio, la Devesa y el lago de la Albufera de Valencia.



Figura 5: Zona de IUF aislada

Fuente: Instituto Cartográfico Valenciano

II.1.2.4. IUF definida desde consideración de incendios forestales

Independientemente de las definiciones de IUF hasta ahora expuestas, en la mayoría de manuales esta interfaz viene definida desde el punto de vista de los incendios forestales, ya que cuando los incendios se dan en estas zonas, como ya se ha mencionado, éstos llaman la atención de la población y de los medios de comunicación, haciendo de las imágenes de las llamas alrededor de las viviendas de la interfaz las más usuales para representar las zonas de IUF.



Figura 6: Caracterización de zona IUF durante un incendio

Fuente: [Quilez and Kindelán, 2011](#)

Sin embargo, esta definición de IUF atendiendo a los incendios forestales tiene más de un prisma desde el cual enfocarla; así pues desde la escala individual de un propietario de vivienda, la IUF es el área donde las infraestructuras antrópicas están dentro o en zonas adyacentes a áreas propensas a incendios forestales; mientras que desde una escala de comunidad, la IUF es el área donde las condiciones específicas pueden hacer a una comunidad vulnerable a un incendio forestal ([Monroe et al. 2006](#)).

Por otro lado, desde el punto de vista de los medios de extinción de incendios, la IUF tiene unas características propias que hasta el momento no se han mencionado, ya que la ocurrencia de incendios en este tipo de zona implica la activación de una respuesta a emergencia integral, debido a que no sólo hay que contemplar la vertiente de daño medioambiental que puede provocar el incendio, sino que frente a ello hay que anteponer la protección de personas y bienes materiales. Esto implica una activación de diferentes medios de emergencias y seguridad, los cuales sólo pueden ser coordinados de manera eficiente bajo

un único puesto de mando, figura que no todas las comunidades tienen aprobada en sus procedimientos operativos.

A su vez, desde el punto de vista de los medios de extinción, se puede hacer una subdivisión de la IUF; subdivisión que, si bien puede asemejarse a la hecha en la definición geográfica, no coincide exactamente ya que valora cuestiones no contempladas en dicha definición como el acceso de los medios de extinción o la capacidad de desalojo y/o confinación de la población. Esta clasificación se realiza en enclaves, según los siguientes criterios ([Quilez and Kindelán, 2011](#)):

II.1.2.4.1 Enclaves aislados y no abundantes

Son enclaves comunes en la mayoría de incendios forestales, por lo general no alteran las maniobras de extinción, ya que requieren de pequeña cantidad de medios en relación al incendio para defenderlas. Se caracterizan por tener escasa accesibilidad y por ser viviendas de carácter residencial, por lo que suelen tener pocas medidas de autoprotección.



Figura 7: Enclave aislado

Fuente: [Quilez and Kindelán, 2011](#)

II.1.2.4.2. Enclaves dispersos

Se caracterizan por ser viviendas salteadas en el espacio en donde evoluciona o se prevé que evolucionará el incendio, de cuya dimensión dependerán las tareas de extinción. En aquellos poco virulentos y de escasa magnitud los efectivos de lucha contra incendios pueden centrarse en proteger estos enclaves de forma eficaz.

Sin embargo, cuando los incendios son grandes o virulentos, la defensa de estos enclaves es compleja, debido a la dificultad que conlleva realizar avisos a una población dispersa, tanto para su tranquilización como para su confinamiento o su evacuación. Esta evacuación, debido a la dispersión de las viviendas, es mucho más lenta y peligrosa; por otro lado la necesidad de recursos para proteger estos enclaves es más elevada.



Figura 8: Enclaves dispersos

Fuente: [Quilez and Kindelán, 2011](#)

II.1.2.4.3. Enclaves de núcleos compactos con masa forestal continua

Cuando el incendio avanza hasta este tipo de enclaves los recursos normalmente no son suficientes para su defensa, por lo que lo habitual es realizar itinerarios de protección de las viviendas priorizando aquellas ubicadas en la zona más cercana al avance del frente de incendio. Cuando el incendio sea muy virulento es probable que el incendio avance por dentro del núcleo poblacional por la copa de los árboles, por lo que los medios de extinción deben localizar una zona de discontinuidad de combustible a fin de detener el incendio en dicho punto; además pueden destinarse medios aéreos para mitigar el avance del incendio en las zonas periurbanas mediante la utilización de retardantes.



Figura 9: Núcleo compacto con masa forestal continua

Fuente: [Quilez and Kindelán, 2011](#)

II.1.2.4.4. Enclaves de núcleos compactos con masa forestal sólo en el límite

Este tipo de enclaves es el característico de la mayoría de poblaciones rurales, así como de la gran parte de urbanizaciones en entorno forestal. Cuando el incendio se da en este tipo de enclaves la zona a proteger pasa a ser únicamente el perímetro de la población, lo cual supone una situación más sencilla que en el caso anterior, además este tipo de enclaves suelen tener una mayor accesibilidad, por lo que es más sencillo el diálogo con la población por parte de los medios de seguridad y extinción. Por otro lado, en estos enclaves normalmente suele haber estructuras fuera del núcleo poblacional, como repetidores de telefonía o transformadores eléctricos, que también deben ser tenidos en cuenta.



Figura 10: Enclave de núcleo compacto con masa forestal sólo en el límite

Fuente: [Quilez and Kindelán, 2011](#)

II. 1.3 Problemática de los incendios en IUF

Tal y como expone ampliamente Gema Herrero en su Tesis Doctoral ([Herrero, 2011](#)), independientemente de la visión utilizada para definir el concepto de interfaz urbano forestal, su problemática en relación con los incendios radica en la cada vez mayor explotación antrópica del medio forestal a través de la urbanización, provocando un aumento de las fuentes de ignición de origen antrópico, ya sea accidental o intencionada; la cual aumenta el número de incendios en estas zonas y, en consecuencia, la exposición de la población allí residente a los mismos; es por ello que son numerosos los estudios que relacionan las zonas de IUF con el aumento del riesgo de incendios forestales ([Davis, 1990](#); [Chen and McAneney, 2004](#); [Collins, 2005](#); [Xanthopoulos et al., 2009](#); [FAO, 2007](#); [Viegas et al., 2009](#)). Este aumento del riesgo de incendio en estas zonas, ha provocado que el número de pérdidas tanto de bienes como de vidas humanas haya aumentado en los últimos años a lo largo de todo el mundo; como ejemplo de estos casos pueden ponerse los incendios ocurridos en el año 2003 en California, donde se perdieron más de 3.500 viviendas ([Zicherman, 2004](#)); o los ocurridos en 2009 en Australia, donde fallecieron 173 personas y se vieron afectadas en torno a las 2.000 viviendas ([Victorian Bushfires Royal Commission, 2010](#)).

Los ejemplos utilizados son muy llamativos debido a la cantidad de vidas y viviendas perdidas. En la cuenca mediterránea, sin ser tan llamativas las cifras, también se sufren con frecuencia accidentes con pérdidas de vidas humanas y daños en los bienes importantes ([Cleaves, 2001](#); [Viegas et al, 2009](#); [Mutch et al., 2010](#)). Todo ello ha llevado a que en La Declaración de la IV Conferencia Internacional de Incendios Forestales de 2007 ([«Wildfire, 2007», 2014](#)), se identifique como un asunto prioritario en la región mediterránea la expansión de la IUF y la creciente vulnerabilidad de las poblaciones rurales ante la ocurrencia de grandes incendios.

De hecho, la Estadística General de Incendios Forestales ofrecida por el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente para nuestro país muestra una tendencia general hacia el aumento del número de incendios forestales frente a una ligera disminución de la superficie afectada:

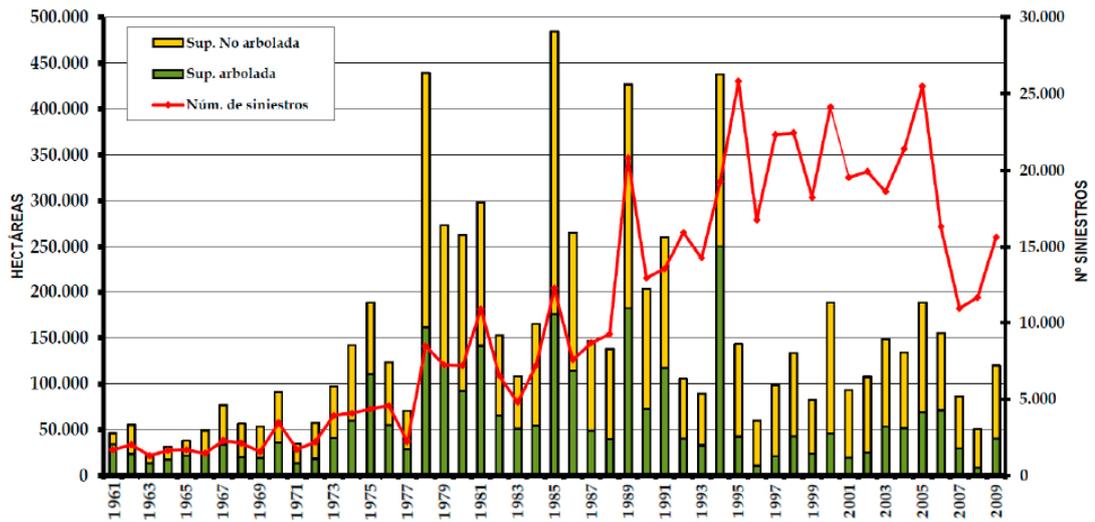


Figura 11: Evolución de la incidencia de incendios forestales (número de siniestros y superficie afectada) durante el período 1961-2009.

Fuente: Estadística General de Incendios Forestales, MAGRAMA

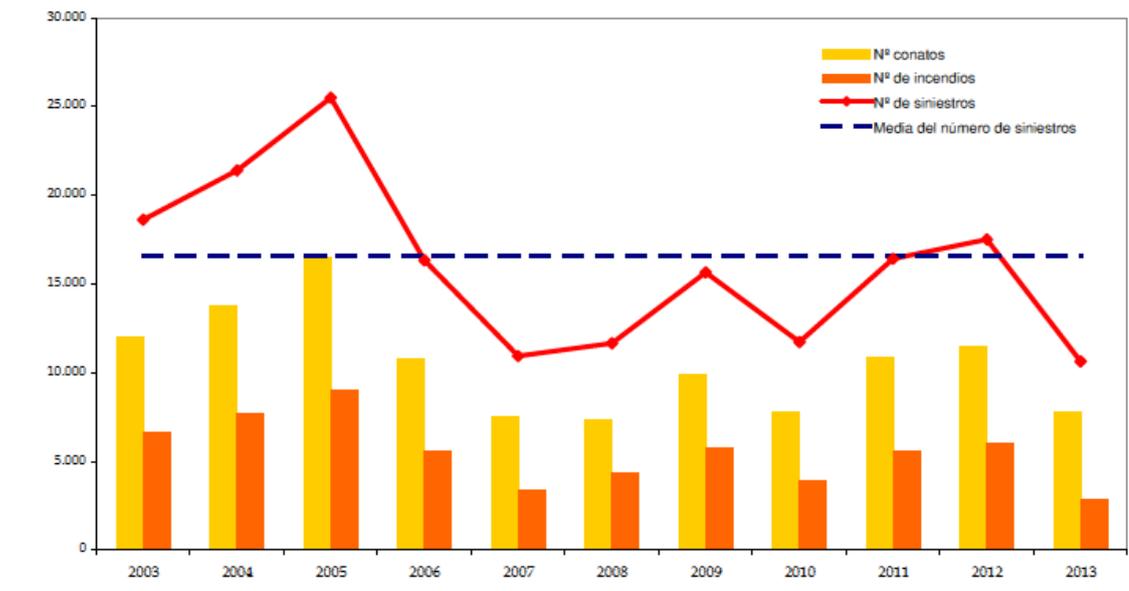


Figura 12: Evolución conatos e incendios 2003-2013

Fuente: Estadística General de Incendios Forestales, MAGRAMA

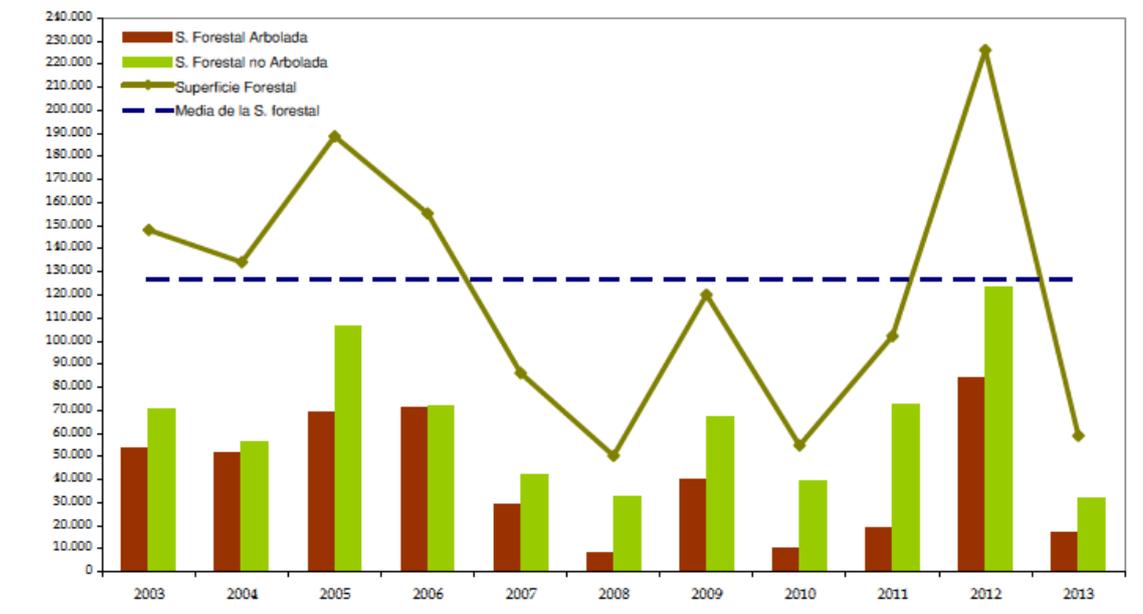


Figura 13: Evolución superficies forestales incendiadas 2003-2013

Fuente: Estadística General de Incendios Forestales, MAGRAMA

En los gráficos anteriores se aprecia que el número de igniciones se ha mantenido oscilando en torno de los 17.000 siniestros al año durante la última década, lo cual muestra que la problemática acerca del origen antrópico de los incendios sigue sin resolverse. Sin embargo, pese a este elevado número de igniciones, se aprecia una reducción considerable de las zonas afectadas por el fuego, esto es debido al gran esfuerzo que, en forma de recursos materiales, humanos y de presupuesto, se está realizando por parte de las administraciones públicas en el ámbito de la extinción ([Díaz-Delgado et al, 2004](#)); lo cual indica que la mayor eficiencia en el control y extinción de incendios forestales contrarresta el aumento del número de igniciones ocurrido desde los años 90, haciendo que, pese a haber más incendios, éstos sean cada vez de menor tamaño y, en consecuencia, que la superficie total afectada por los incendios sea menor.

Por otro lado, pese a la evidente influencia de los factores meteorológicos en la probabilidad de ignición, esta influencia se encuentra muy condicionada por el origen antrópico de los incendios. Así, en la región mediterránea, el 95% de los incendios forestales son de origen antrópico, por lo que nunca se debe de perder de vista la influencia humana en estos incendios, aun cuando el peligro ligado a las condiciones meteorológicas no sea elevado ([FAO, 2007](#)). De hecho, se ha demostrado la existencia de una relación positiva entre la presencia de espacios de interfaz urbano-forestal y la distribución de los incendios en distintos

contextos territoriales, lo que confirma a la presencia de viviendas en medio forestal como un factor importante en el riesgo de incendio forestal ([Syphard et al., 2007](#); [Modugno et al., 2008](#), [Lampin-Maillet, 2009](#); [Romero-Calcerrada et al., 2010](#); [Vilar del Hoyo et al., 2010](#)).

Otro aspecto influyente en la existencia de incendios en la IUF es la estructura paisajística ([Mermoz et al., 2005](#); [Viedma et al., 2009](#)). Como ya se ha comentado, cada vez la sociedad tiende a ser más urbanita, esto conlleva a que las autoridades cada vez más ejerzan una política forestal cuya tendencia gestora es la no gestión forestal, caracterizada por la falta de presupuesto para inversión en el sector forestal por su baja rentabilidad directa, sin que se tenga en cuenta las externalidades del monte y sus beneficios indirectos; por lo que se está dejando que sea la propia naturaleza la que crezca libremente y sin intervención antrópica; sin embargo sí que se invierten grandes cantidades de recursos en la lucha contra los incendios forestales, por lo que la no gestión queda en entredicho, ya que esta extinción de los incendios implica una intervención antrópica en el medio forestal.

Junto a esto, la no gestión forestal está provocando una homogeneización en el tipo de vegetación existente, más aún si se tiene en cuenta que se han perdido usos tradicionales del monte (pastoreo, leñas, cultivos...) y ya no existe una mastofauna herbívora (ciervos, cabras, muflones, gamos, caballos, burros, toros salvajes, etc.) que mantenían el monte en equilibrio respecto a la cantidad de vegetación/combustible (matorral y pastos); todo lo cual ha supuesto un aumento de la densidad y continuidad de los combustibles, con el aumento del riesgo de incendio que este aumento de combustible conlleva ([Turner and Romme, 1994](#); [Moreira et al., 2008](#)); ya que numerosos estudios han demostrado que la organización espacial de la cubierta del suelo y las características de la vegetación forestal tienen una gran influencia en la ocurrencia de incendios y en su propagación ([Weir et al., 2000](#); [Cardille and Ventura, 2001](#); [Díaz-Delgado et al., 2004](#)). Así pues, este cambio en la sociedad en su visión de lo forestal que se está dando especialmente desde las últimas décadas del siglo XX, ha llevado a una acción conjunta de diferentes procesos (políticos, socioeconómicos, tecnológicos y naturales), dando lugar a importantes cambios en los usos y la cobertura del suelo, que han tenido como consecuencia un aumento, no solo de la frecuencia, sino de la severidad de los incendios forestales, especialmente en los países del norte de la cuenca mediterránea ([Burgüi et al., 2004](#); [San Miguel and Camia, 2009](#); [Vélez, 2009](#)); siendo precisamente este aumento de la severidad uno de los principales riesgos de desertificación de las zonas donde se dan incendios.

Siguiendo con el análisis de las causas sociológicas de los incendios en IUF, uno de los principales factores es el despoblamiento del medio rural el cual, junto con políticas europeas que fomentaban la no producción agrícola, ha llevado a la desaparición de gran parte de la actividad agraria, con la consecuente invasión de las zonas de cultivo abandonadas por vegetación forestal. Una vez más, este abandono de los medios de vida tradicionalmente rurales, de aprovechamiento agrícola y de pastoreo, ha potenciado la evolución de la vegetación natural con su consecuente homogeneización y acumulación de combustible ([Moreira et al., 2001](#); [Sluiter and de Jong, 2007](#); [Serra et al., 2008](#)).

A su vez, la proliferación de nuevas orientaciones políticas cuya vertiente ambiental de conservación de la naturaleza y el paisaje tiene más fuerza que la vertiente tradicional de aprovechamiento productivo del medio forestal, ha dado como resultado un cambio en las políticas forestales que ha provocado una variación en las repoblaciones, las cuales han pasado de las monoespecíficas con especies orientadas a la producción y el aprovechamiento de productos forestales (leña, resina, carbón), especies que, debido a su aprovechamiento, tenían una conservación del sotobosque y una eliminación de combustible; hacia unas estructuras forestales no mantenidas, con el aumento de la peligrosidad que esto genera. Junto a esto, se ha producido un aumento de la función recreativa del monte que, en gran medida, ha potenciado el acercamiento de una población eminentemente urbana desconocedora de la problemática forestal ([Vélez, 2009](#)).

Estas nuevas tendencias políticas se sitúan al lado contrario del uso que históricamente se ha hecho del monte en las regiones mediterráneas, uso tradicional que ha dado como resultado el actual paisaje; así pues, estos cambios en las actividades y el uso del suelo tienen el potencial de modificar la magnitud y frecuencia de los incendios forestales ([Peña et al., 2007](#); [Millington et al., 2008](#)). A su vez, la ya comentada variación de la sociedad hacia las ciudades y la mejora de las infraestructuras de transporte, ha potenciado la dispersión de los usos urbanos en el territorio y, de forma específica, en los espacios forestales ([Johnson, 2001](#); [Antrop, 2004](#); [EEA, 2006](#)); en otras palabras, se están aumentando paulatinamente las zonas de interfaz urbano-forestal, en un monte cada vez menos gestionado, por lo que existe un mayor potencial de incendio, con el aumento tanto del riesgo de incendios de alta intensidad que fomenten la desertificación, como de la probabilidad de riesgo de situaciones donde mucha población se vea afectada por sucesos de incendio.

En definitiva, se hace evidente la influencia que tiene el ser humano en la casuística de los incendios forestales en el territorio, durante todas las fases del incendio forestal; es decir, el ser humano influye antes de que se dé el incendio, durante el mismo y después de su extinción. Antes del incendio, como responsable de la política gestora del suelo y del monte, lo cual implica la mayor o menor existencia de combustible, y la configuración del mismo, así como siendo el hombre el vector principal de fuentes de ignición de incendios. Durante el incendio, porque su capacidad extintora implica un control sobre la evolución del mismo. Finalmente, también interviene como sujeto que sufre las principales consecuencias de los incendios ([Martínez et al., 2008](#); [Calef et al., 2008](#), [Millington et al., 2008](#); [Leone et al., 2009](#)).

Por otro lado, además de la evidente influencia antrópica que tienen los incendios de IUF, no hay que perder de vista la influencia que el cambio climático pueda tener sobre los mismos; ya que muchos estudios prevén que éste supondrá un incremento de la gravedad de los incendios forestales y su afcción sobre espacios habitados ([Flannigan et al., 2005](#); [Bassi and Kettunen, 2008](#)). Según las proyecciones realizadas, determinadas regiones del sur de Europa, y de forma especial la Península Ibérica, experimentarán un crecimiento superficial de las zonas de riesgo y una ampliación del período de alto riesgo de incendio ([Camia et al., 2008](#); [Lavallo et al., 2009](#))

Principalmente, esto se verá traducido en un aumento de fenómenos climáticos extremos que, junto con la acción de determinadas dinámicas relacionadas con la acumulación de combustibles y el aumento de la combustibilidad de los sistemas forestales, supondrá un incremento en la frecuencia y magnitud de incendios forestales así como en su duración. La multiplicidad y coincidencia de incendios de gran intensidad provocará que los servicios de lucha contra incendios tengan dificultades para abordar su extinción, pudiendo alcanzar con mayor frecuencia situaciones en las que su capacidad de acción se vea superada ([Moreno, 2007](#)). La gravedad de esta situación es máxima cuando sucede en un contexto donde además coincide la presencia de población.

La reacción desde Europa ante la constatación de las implicaciones del cambio climático sobre el medio natural y los sectores socio-económicos se dirige principalmente a promover el establecimiento de estrategias de adaptación.

En España, las opciones adaptativas se orientan principalmente a las políticas de prevención y lucha contra incendios pero, además, incorporan la necesidad de implicar a otras

políticas relacionadas con la conservación de la naturaleza o la ordenación del territorio. Los aspectos más destacados se refieren a la incorporación del fuego en los sistemas de gestión y el fomento de la utilización de biomasa con fines energéticos, la aplicación de avances tecnológicos en los sistemas de vigilancia y detección de incendios para acortar los tiempos de respuesta y, de forma especial, la gestión del riesgo de incendios forestales en zonas residenciales, haciendo hincapié en la capacidad de los instrumentos normativos y de planificación disponibles para introducir las adaptaciones necesarias ([Moreno, 2005](#); [Rigolot, 2009](#); [Vélez, 2009](#)).

Es precisamente dentro de este marco de opciones adaptativas donde se engloban los objetivos de la presente Tesis, ya que ahonda en el desarrollo de nuevas herramientas que sirvan para aplicar avances tecnológicos en los sistemas de vigilancia; así como de herramientas específicas de previsión de incendios en zonas de alto riesgo; sistemas ambos orientados a reducir el tiempo de respuesta de los servicios de emergencias y a facilitar la gestión del riesgo en zonas de IUF.

II. 2. Sistemas de detección de incendios forestales

Como se ha explicado detalladamente a lo largo del punto anterior, los incendios forestales son un fenómeno recurrente en toda la cuenca mediterránea, cuya presencia viene ocasionando daños significativos cada año en el medio ambiente, elevados costes económicos, inseguridad ciudadana y pérdidas de vidas humanas. En la lucha contra los incendios forestales, la detección de conatos, y su consecuente extinción, es una tarea fundamental ([Steele and Stier, 1998](#)); debido a lo cual desde hace años se viene trabajando en la desafiante tarea de la detección instantánea y seguimiento del suceso de incendio de la manera más exacta posible; para lo cual se han empleado a lo largo del tiempo diferentes aplicaciones tecnológicas.

De las numerosas maneras para detectar y monitorizar un incendio forestal, tradicionalmente se ha utilizado a personal ubicado en torres de vigilancia estratégicamente situadas ([Fleming and Robertson, 2003](#); [Del Río et al., 2007](#)). Este método de vigilancia es todavía usado en muchos países, sin embargo debido a la penosidad laboral en la que se encuentran los observadores y a la escasa fiabilidad de la observación humana a la hora de ubicar las coordenadas exactas de un incendio, se han ido desarrollando distintos sistemas de detección basados en diferentes técnicas con la finalidad de avisar a los servicios de extinción con mayor precisión ([Aslan et al., 2012](#)). Estas técnicas van desde la observación con cámara de visión tradicional, hasta la detección mediante laser, satélite, sensores inalámbricos o cámaras de visión infrarrojas. A lo largo del presente apartado se presentan los principales métodos de vigilancia y detección de incendios forestales.

II. 2. 1. Sistema de detección de incendios tradicionales terrestres fijos

Este tipo de sistema de detección consiste en puestos de vigilancia terrestre fijos, que pueden ser torres, casetas o refugios, que aparecen distribuidos por todo el territorio, especialmente en áreas donde los recursos forestales poseen un alto valor o en zonas de alto riesgo de incendio. En estos puestos, el principal factor limitante es el humano, más cuando en algunos casos estos puestos de vigilancia eran la salida de muchos malos combatientes forestales, con grandes carencias formativas de base, que no pasaban el reconocimiento médico, y se recolocaban en los puestos de vigilancia ([Pérez et al., 2007](#)).

Por otro lado, la penosidad laboral y la estacionalidad del puesto de trabajo, provocan una desmotivación en el personal, lo cual conlleva una continua variación de las personas

encargadas de la vigilancia y, en consecuencia, una pérdida en el conocimiento de la labor a realizar y del terreno a vigilar. Pese a esto, en los últimos años, la incorporación de las mujeres jóvenes del ámbito rural, de estudiantes, la mejora de la cobertura de telefonía móvil, así como la construcción de nuevos puestos de vigilancia ha mejorado la eficacia de este tipo de sistema de detección de incendios forestales.

Para seleccionar la ubicación de los puestos de vigilancia, es necesario definir la distancia de detección, ésta es la distancia reducida máxima a la que es posible visar un humo por un observador humano desde una torre de detección terrestre fija de incendios forestales ([Del Río et al., 2007](#)). Analizar la bondad visual de una torre, o evaluar el grado de recubrimiento de la red, requiere conocer previamente el valor de esta variable.

Es frecuente encontrar modelos de visibilidad que emplean valores teóricos o bibliográficos de distancia de detección de 10 km para terrenos accidentados, 20 km para terrenos llanos ([Ruiz, 2000](#)) ó 50 km de forma genérica. Algunos trabajos aconsejan la obtención de valores empíricos que se acerquen en mayor medida a las condiciones reales. Los datos obtenidos por estos estudios realizados en diversos países ([Rego et al., 2004](#)) establecen un amplio rango de valores para esta variable que oscila entre los 6 y los 40 km ([Brown and Davis, 1973](#); [Davis et al., 1959](#); [Chandler et al., 1983](#); [Ruiz, 2000](#); [FAO, 2001](#)). Catry et al. (2004) obtuvieron para 207 torres portuguesas en el año 2001 un rango de 22 a 35 km. Para la totalidad de las torres que integran la red portuguesa de detección Rego et al. (2004) han obtenido valores de 13,4 km en condiciones pobres de visibilidad y 20,6 km en buenas condiciones. Davis et al. (1959) obtuvieron valores de 9 a 18 km en lugares afectados por la densidad de población y la actividad industrial.

Las causas que influyen en la existencia de este amplio abanico de radios de detección, incluso en una misma localización, son múltiples y no siempre fáciles de determinar. Están condicionadas por las características espaciales del lugar donde está emplazada la torre y por la variabilidad temporal de la visibilidad. Diversos autores apuntan a las condiciones atmosféricas (orientación del sol y franja horaria), fenómenos meteorológicos (calima, niebla), características topográficas (rugosidad del terreno, distancia al litoral o continentalidad), y la contaminación visual de origen antropogénico ligadas a la densidad de población y presencia de infraestructuras (luminosidad, movimiento de vehículos, iluminación artificial) como el principal elenco de factores responsables de esta incertidumbre, aunque no los únicos ([Rego et al., 2004](#)).

En consecuencia, para una correcta ubicación de las torres de vigilancia fijas, es conveniente evitar recurrir a los datos que ofrecen otras zonas vigiladas diferentes, siendo conveniente realizar modelos estadísticos para estimar la correcta distancia entre torres y concretar la cuantía necesaria de las mismas ([Franklin, 2000](#)).

En todo caso, debe tenerse en cuenta que estas instalaciones estarán habitadas por personal de guardia, por lo que deben de contar con sistemas contra descargas eléctricas (tanto pararrayos como tomas de tierra), su impacto ambiental debe ser el menor posible, tanto en lo referido al material de construcción elegido como a los caminos de acceso a los mismos; además debe de contar con instalaciones sanitarias, alimentadas bien desde aljibe, bien desde toma de agua.

Junto con lo anterior, debido a la cada vez mayor necesidad de alimentación a través de corriente eléctrica de los dispositivos de comunicación (teléfonos móviles, emisoras, etc.), y a la proliferación de programas informáticos basados en la utilización de fotografías panorámicas que facilitan al vigilante la ubicación del incendio como el Vigis en la Comunidad de Madrid y el Ubifoc en la Comunidad Valenciana ([Montiel et al., 2009](#)); estos puestos de vigilancia deben de estar dotados de instalaciones eléctricas que tengan escaso impacto ambiental, preferiblemente utilizándose energías renovables que eviten la necesidad de instalar tendido eléctrico.

Con todo, a continuación se muestra un resumen del sistema de detección de incendios mediante puestos fijos terrestres ([Pérez et al., 2007](#); [Montiel et al., 2009](#)) :

- Descripción del sistema: Torres, puestos de vigilancia o refugios distribuidos en puntos estratégicos de gran intervisibilidad donde una persona realiza una labor de observación, localización y alarma de cualquier humo.
- Tiempo de detección: Promedios estimados de 10 minutos. Peligro de casos puntuales de tiempos extralimitados con consecuencias catastróficas.
- Precisión localización: Necesidad de avistamiento por al menos dos puestos y si es posible uno más de control. Influye mucho los ángulos agudos de las visuales así como las distancias al punto de observación. Otro gran problema es el mal diseño de la red ya que, por lo general, no ha sido diseñada como tal sino como suma histórica de nuevos puntos según se ejecutaba la tarea de repoblación de los montes en toda España desde los años 60 hasta nuestros días.

- Valoración inicial del peligro: Se reduce a una descripción de la columna de convección junto a las observaciones meteorológicas.
- Discriminación de alarmas: Muy eficaz en segregar humos habituales incluso quemas autorizadas, dificultades de visibilidad ante polvaredas y fuegos de diferente naturaleza a la forestal.
- Detección de fuegos simultáneos: Muy eficaz ante múltiples quemas, hogueras y humaredas, y ante la detección de fuegos provocados por rayos siempre cumpliendo las condiciones de seguridad y protección ante tormentas eléctricas de los puestos de observación.
- Utilidad: Imprescindible. Necesidad de un análisis de idoneidad de la red de puestos fijos. Radio de vigilancia entre 15 y 30 km
- Ventajas:
 - Gran campo de visión
 - Bajo coste de mantenimiento
 - Vigilancia continua (depende de despliegue)
- Inconvenientes:
 - Existencia de áreas de sombra
 - Subjetividad en localización del incendio
 - Dificultades de detección con condiciones atmosféricas adversas
 - Alto coste de instalación inicial
 - Gran número de personal para vigilancia continua (turnos)
 - Necesidad de avistamiento por al menos dos puestos para localización exacta del foco

II. 2.2 Sistema de detección de incendios tradicionales terrestres móviles

Este tipo de sistemas de detección consiste en la realización de rutas de vigilancia cíclicas a través de zonas de alto riesgo de incendio. Estas rutas deben de estar calculadas para recorrer en el menor tiempo posible aquellas zonas especialmente sensibles, o con alta explotación antrópica, a través de caminos que ofrezcan la mayor visibilidad posible del área vigilada ([Ruiz, 2000](#)).

Estos sistemas móviles se suelen usar de forma complementaria a los sistemas fijos de vigilancia, y su eficiencia dependerá en gran medida del medio de transporte elegido para la realización de las rutas. Así, si el medio de transporte no dispone del equipo necesario para la

realización de un pronto ataque, no se podrá acudir de forma directa al ataque del foco detectado, teniendo que dar aviso a los medios de extinción y quedar a la espera. Sin embargo, cada vez son más los servicios de prevención y extinción que en sus labores de patrulla incluyen vehículos de vigilancia y primer ataque (VSPA) los cuales se caracterizan por ser vehículos todo terreno dotados de un pequeño depósito de agua y un sistema de devanaderas; con los cuales se puede realizar un ataque directo al fuego mientras se espera la llegada de refuerzos a la zona.

En las zonas de IUF, al estar dotadas de mejores vías de comunicación, estas patrullas pueden ser realizadas directamente por cuerpos del Servicio de Prevención y Extinción de Incendios y Salvamentos (SPEIS) correspondiente, mediante los vehículos específicos que tengan para la extinción de incendios; tal es el caso de la Devesa de Valencia, la cual durante la época estival es vigilada mediante patrullas realizadas con camiones del cuerpo de bomberos, con la ventaja de tener una elevada disponibilidad de agua para un primer ataque y el inconveniente del gran consumo de combustible que supone movilizar un vehículo pesado para labores de patrulla, así como la penosidad laboral de los bomberos a la hora de patrullar en un vehículo de extinción de incendios.

Con todo, una de las ventajas que este tipo de sistemas presenta es que tiene un efecto añadido a la detección: la disuasión. Como es sabido, una gran mayoría de incendios forestales en la cuenca mediterránea es producido intencionadamente o por negligencias; una patrulla de la zona provoca que el incendiario tenga más reticencias a la hora de provocar el siniestro, mientras que el resto de ciudadanos, al sentirse más vigilados, aumentan la precaución que tienen sobre sus posibles actos negligentes, disminuyendo los mismos.

Otro factor positivo de este tipo de sistemas es que son altamente eficaces en la detección de incendios producidos por rayos, de hecho las patrullas terrestres se emplean en la Comunidad Valenciana, Aragón y Castilla y León para localizar posibles incendios por rayos, a partir de las coordenadas de impactos facilitadas por la Agencia Estatal de Meteorología ([Montiel et al., 2009](#)).

Por el contrario, estos sistemas vuelven a requerir de un elevado gasto en recursos humanos, ya que las patrullas para ser eficaces deben de darse con una frecuencia elevada, realizándose dos turnos como mínimo para cubrir todas las horas con luz del día en verano. Por lo que vuelven a supeditarse a zonas de alto valor ecológico, las cuales, como ya se ha

dicho anteriormente, debido a su especial valía requieren de una vigilancia añadida a la de los puestos fijos, de la que estos sistemas son complementarios.

Las principales ventajas e inconvenientes de este sistema son ([Montiel et al., 2009](#)):

- Ventajas:
 - Observación directa, con posibilidad de un primer ataque al incendio si se patrulla con el vehículo adecuado
 - Posibilita una localización precisa del incendio
 - Muy eficaz tras el paso de tormentas secas
 - Muy eficaz en verificación de alarmas desde puestos fijos
 - Efecto disuasorio y permite dar información ciudadana
- Inconvenientes:
 - La vigilancia no es continua
 - Campo de visión reducido
 - Necesidad de planificación de rutas
 - Alto coste de mantenimiento de vehículos, combustible y personal

II. 2.3 Sistema aéreos de detección de incendios

Para la detección de incendios forestales en áreas muy extensas, y que posean grandes e importantes masas y reservas forestales, pueden utilizarse para su vigilancia medios aéreos, normalmente helicópteros, aviones de coordinación y observación, aviones de pequeña carga (las cuales tienen la capacidad de realizar un primer ataque en caso de detección de un foco de incendio), y en los últimos tiempos se están empleando vehículos aéreos no tripulados ([Ollero et al., 2007](#); [Gonzalo et al., 2007](#)).

Para un correcto funcionamiento de este tipo de sistemas de detección es necesario realizar previamente un análisis del riesgo de la zona a vigilar, así como un análisis de los combustibles y del daño potencial de la zona a proteger ([Ruiz, 2000](#)), así la programación de los vuelos dependerá del índice de peligro de incendios, las horas de máximo riesgo o las misiones disuasorias de los mismos.

Estos vehículos aéreos, a su vez, pueden ir equipados con equipos especiales de visión, como cámaras infrarrojas, habiéndose desarrollado programas específicos para la detección de incendios mediante infrarrojos situados en medios aéreos ([Riggan and Hoffman, 2003](#); [Riggan et al., 2003](#)).

Respecto a las ventajas e inconvenientes de este tipo de sistemas ([Montiel et al, 2009](#)):

- Ventajas:
 - Gran campo de visión instantáneo.
 - Extensas zonas vigiladas.
 - Gran flexibilidad. Eficaz en la discriminación de alarmas
 - Posibilidad de dar información precisa de la localización del incendio
 - Puede actuar como aeronave de vigilancia y primer ataque
 - Puede llevar incorporados sistemas de grabación y otros avances
 - Capacidad de monitorización georreferenciada
 - Transmisión sencilla de la información
- Inconvenientes:
 - No opera bajo condiciones meteorológicas adversas
 - Costes de operación generalmente elevados
 - La vigilancia no es continua
 - Necesidad de planificación de rutas
 - Posibles condiciones de peligro para tripulación
 - Importantes costes de adquisición

II. 2.4 Sistema de detección de incendios mediante videovigilancia

Los sistemas de detección de incendios mediante videovigilancia no son una exclusiva de los incendios forestales, ya que durante tiempo se vienen utilizando para la detección de incendios en auditorios, túneles, así como en complejos de edificios; y aprovechando la cada vez mayor presencia de cámaras, también en espacios de interfaz ubicados en las afueras de estos edificios ([Toreyin and Cetin, 2008](#)).

Para la utilización de estos sistemas en los medios forestales el sistema debe constar de torres donde situar las cámaras de vigilancia, y un centro general de control. Las torres deben de tener la altura suficiente para que las cámaras alcancen a visualizar toda la zona a vigilar, debiendo a su vez sopotar las antenas de los equipos de mando a distancia y transmisión de imágenes; para esta transmisión de imágenes se puede utilizar el cable trenzado de cobre, el cable de fibra óptica o las ondas microondas, la elección del elemento transmisor dependerá del emplazamiento de las torres respecto al centro de control. En todo caso, las torres deberán tener suministro eléctrico, bien mediante conexión a la red general, bien mediante generadores. A su vez, la cámara deberá estar acondicionada para soportar las inclemencias

meteorológicas, y debe estar preparada para girar y hacer zoom bajo demanda del centro de control.

Dicho centro de control contará con pantallas receptoras de las imágenes, equipos de mando a distancia para el control de las cámaras situadas en las torres de vigilancia y transceptores de radio o telefonía móvil. A su vez, estarán dotados de sistemas de software capaces de detectar automáticamente posibles focos de incendio; este software ha evolucionado en los últimos años, ya que algunas características del incendio son sencillas de detectar mediante este tipo de sistemas, como el repentino aumento de temperatura; sin embargo otras como la velocidad de propagación son de difícil detección ([Ramachandran et al., 2008](#)), además están sometidos a alto número de falsas alarmas debido a las condiciones atmosféricas (nubes, sombras, partículas de polvo en suspensión), reflejos de luz y actividad humana ([Krstinic et al., 2009](#)), esto hace de la detección de incendios mediante video una aplicación tan específica que requiere de métodos concretos para cada caso, por lo que en la literatura se pueden encontrar diferentes algoritmos para la detección de fuego y llamas ([Healey et al., 1993](#); [Phillips III et al., 2002](#); [Chen et al., 2004](#); [Liu and Ahuja, 2004](#); [Zhang et al. 2007](#)).

Respecto a las ventajas e inconvenientes de este tipo de sistemas ([Ruiz, 2000](#); [Montiel et al., 2009](#)):

- Ventajas:
 - Centralización de la vigilancia
 - Posible reducción del número de vigilantes
 - Automatización del proceso de detección
 - Detección de fuegos en zonas remotas
 - Gran superficie cubierta
- Inconvenientes:
 - Baja precisión
 - Complejidad técnica
 - Alto coste de instalación y mantenimiento
 - Largos tiempos de proceso
 - Resoluciones espaciales inadecuadas
 - Frecuencia insuficiente de suministro de datos
 - Necesidad de adaptar el software a la zona específica a vigilar

II. 2.5 Sistema de detección de incendios mediante laser

En lo referido a los sistemas usados en la detección por laser, el sistema más utilizado ha sido el LIDAR (*Light detection and ranging*) el cual se usa de manera generalizada en los estudios atmosféricos y medioambientales ([Measures, 1984](#); [Jelalian, 1992](#); [Bosenberg et al., 1997](#)) así como también se viene aplicando en la cuantificación del combustible consumido durante un fuego ([Clark et al., 2009](#)), un LIDAR está compuesto por un emisor de radiación, una óptica receptora, un foto-detector, un adquisidor de señal, además de un hardware y software para el procesamiento de los datos.

El sistema tiene como fin la detección de columnas de humo de alrededor de 1 metro de diámetro cuando éstas sobrepasan la copa de los árboles y aparecen sobre el horizonte. Este sistema se ha demostrado capaz de detectar incendios hasta una distancia de 6,5 km ([Lavrov and Vilar, 1999](#); [Vilar and Lavrov, 2000](#); [Utkin et al., 2002](#));). Para la automatización del proceso de detección se requiere de la identificación de los picos correspondientes a las plumas de los humos del conato de incendio en la señales del lidar; sin embargo estas señales normalmente presentan otros picos provenientes de perturbaciones atmosféricas, cables y otros obstáculos que dificultan esta automatización ([Fernandes et al., 2004](#)).

Así pues, las principales ventajas e inconvenientes de este tipo de sistema son ([San-Miguel-Ayanz et al., 2005](#)):

- Ventajas:
 - Con pocos puestos de control se puede vigilar una extensa área
 - Reduce el número de vigilantes necesarios
 - Se puede convinar con sistemas de geoposicionamiento, de información geográfica o meteorológica, para conjuntarlo con un sistema experto de toma de decisiones
- Inconvenientes:
 - La columna de humo sólo se puede detectar cuando ésta tenga un volumen importante, con el avance en el conato de incendio que ello implica
 - El humo habitualmente circula sobre la superficie vegetal y emerge por encima de la copa de los árboles en un área diferente a donde se está produciendo el conato
 - Requieren de un elevado coste de instalación y mantenimiento

II. 2.5 Sistema de detección de incendios mediante satélite

La detección mediante satélites es de lejos la técnica más avanzada y desarrollada que existe a día de hoy ([San-Miguel-Ayanz et al., 2005](#)), sin embargo su uso en la detección temprana es escaso, ya que para la detección de incendios forestales mediante satélites se utilizan las imágenes completas de la Tierra que ofrecen los mismos cada 1-2 días, siendo este periodo de escaneo demasiado largo como para poder detectar pequeños focos ([Aslan et al., 2012](#)), y su resolución demasiado baja ([Díaz-Ramírez et al., 2012](#))

Pese a esto, se encuentra en la literatura multitud de sistemas tanto de detección de incendios como de su análisis posterior mediante satélite ([Henderson et al. 2010](#); [Hantson et al. 2013](#); [Peterson and Wang, 2013](#); «[MODIS Website](#)», 2013; [US Department of Commerce, 2013](#)), debido a que si bien no es un sistema adecuado para hacer detección temprana, sí que lo es para hacer seguimiento de grandes incendios en zonas homogéneas y grandes.

Es por esto que no es una técnica comparable al resto respecto a ventajas e inconvenientes, ya que su uso en detección temprana es escaso, no obstante, como se acaba de mencionar, cada vez es más su uso a nivel internacional tanto para la detección de grandes incendios, como para la prevención de los mismos gracias a la información tanto de las condiciones ambientales como de las de la vegetación que éstos ofrecen, y que puede ser incluida en diferentes métodos de elaboración de niveles de riesgo de incendios forestales.

Sin embargo, pese a que potencialmente se dispone de tecnología capaz de aportar información importante en la lucha contra incendios tanto en el corto como en el largo plazo, el uso práctico que se le está dando a nivel nacional es escaso, constatóndose que muchas de las aplicaciones que de esta tecnología se llevan a cabo, no pasan de ser meras experiencias puntuales sin continuidad ([Vélez, 2000](#)).

II. 2.6 Sistema de detección mediante sensores inalámbricos

En los últimos años ha aumentando significativamente la investigación en sensores inalámbricos (*Wireless Sensor Networks –WSNs-*) aplicados a incendios forestales ([Doolin and Sitar, 2005](#); [Yu et al., 2005](#)), este tipo de sistema consisten en una serie de nodos conformantes de la red compuestos por equipos sensores, procesadores, baterías, una radio y un actuador ([Yick et al., 2008](#)), estos nodos de la WSN son capaces de medir las condiciones ambientales tales como temperatura, humedad, presión manométrica, etc. ([Díaz-Ramírez et al. 2012](#)). Estos dispositivos tienen la capacidad de recibir y enviar información de forma

inalámbrica a uno o mas dispositivos a la vez, tales como ordenadores portátiles, PDAs, teléfonos móviles y, principalmente, pequeños dispositivos equipados con las características básicas para la recepción o monitorización de un evento, el almacenamiento y posterior procesado de la información ([Lino, 2012](#)).

Debido a esto, su uso ha sido más orientado a la predicción de un evento de incendio que a la detección del mismo, ya que aunque estos nodos puedan detectar variación de temperatura y presión, se necesita una red muy densa para detectar un fuego antes de que este se extienda ([Fierens, 2009](#)); sin embargo, ya se están desarrollando estudios para poder usar esta tecnología en la detección temprana ([Lloret, 2009](#); [Fernández-Berni et al., 2012](#)).

Con todo, no se pueden especificar una serie de ventajas e inconvenientes de este tipo de tecnología con respecto al resto, ya que muy pocos estudios se encuentran en la literatura referidos a la implementación práctica de este tipo de técnica ([Rodríguez et al. 2000](#); [Doolin and Sitar, 2005](#)).

II. 2.7 Sistema de detección mediante cámaras infrarrojas

Las radiaciones que emiten los cuerpos pueden detectarse por medio de cámaras o detectores de infrarrojo, proporcionando una imagen de la que se distingue el cuerpo a más alta temperatura que la del entorno. Estos detectores se usan preferentemente en la industria del armamento, debido a sus aplicaciones en la guerra para localizar cuerpos calientes. Hay un amplio abanico de uso de detectores infrarrojos para aplicaciones civiles, como el rescate de naufragos o la detección de zonas calientes en instalaciones eléctricas. Los detectores infrarrojos se pueden clasificar según la siguiente tabla:

Tabla 1: Clasificación de detectores de infrarrojo

Clasificación detectores IR	Detectores cuánticos		Detectores piroeléctricos		
			Óptica		
			Ge	SeZn	SeZn multispectral
Banda espectral (micras)	3-5	8-12	8-12	3-5	0,6-22
Aplicación	Temperatura del blanco superior a temperatura ambiente	Temperatura del blanco similar a temperatura ambiente	Todas		
Refrigeración	Sí		No		
Detectividad	Muy alta		Media		

Fuente: [Ruiz, 2000](#)

Al albor del avance que han ido teniendo este tipo de detectores infrarrojos, durante las últimas décadas se han ido desarrollando sistemas de detección de incendios forestales mediante infrarrojos, y se han desarrollado significativos progresos en este campo ([Wang et al., 2012](#)), los métodos para alcanzar la detección mediante infrarrojos incluyen sistemas de filtrado ([Yang et al., 2004](#)), técnicas basadas en redes neuronales ([Zhang and Li, 2007](#); [Khan et al., 2009](#)) y logaritmos de transformación de onda ([Sadjadi, 2004](#)).

Respecto a su instalación en campo, la mayoría está compuesto por cámaras infrarrojas y de TV situadas en lo alto de torres estratégicamente situadas para cubrir grandes áreas ([Hefeeda and Bagheri, 2009](#)), y en la actualidad existen diferentes sistemas puestos en funcionamiento ([Stipanicev et al. 2010](#); «Sistema Bosque» 2013; «FireWatch» 2013); pero debido a las variaciones de iluminación, condiciones meteorológicas y el elevado número de eventos dinámicos que pueden aparecer, estos sistemas generan un elevado número de falsos positivos ([Vicente and Guillemant, 2002](#)) los cuales, según los estudios hechos hasta el momento, vienen determinados por ([Ollero et al., 1999](#); [Arrue et al., 2000](#)):

- Reflejos solares
- Objetos calientes
- Luces artificiales
- Fuentes de combustión debidas a actividades humanas

- Lluvia y humedad relativa que distorsionan las emisiones infrarrojas

Con todo, este tipo de sistemas muestra una serie de ventajas e inconvenientes respecto al resto, que se pueden sintetizar en ([Vélez, 2000](#)):

- Ventajas:
 - Detección nocturna y en condiciones de baja visibilidad, precisión en la detección y propagación del fuego
- Inconvenientes:
 - Dificultad en la eliminación de falsas alarmas, complejidad del instrumental para su manejo, alcance limitado y exclusivo de las zonas bajo vigilancia, alto coste de material, instalación y mantenimiento

Así pues, con todo lo que se ha expuesto hasta ahora, se deduce que pese a la larga trayectoria en investigación de técnicas de detección temprana de incendios forestales, todavía no se ha encontrado una técnica que sea significativamente superior al resto, debido a lo cual se sigue investigando en todos los campos. Sin embargo, de pocas técnicas se encuentra en la literatura una revisión de la misma después de la aplicación en campo durante un periodo de tiempo largo, a fin de analizar los resultados obtenidos no sólo en la puesta en práctica de un prototipo, sino de su análisis a largo plazo. Esta es precisamente la intención del presente estudio, para ello se ha estudiado un sistema que lleva en funcionamiento más de 10 años en un paraje natural protegido, del cual se han analizado 10.519 alarmas no reales. Del análisis de estos datos, se obtiene que en este tipo de sistemas influyen otra serie de variables externas al mismo además de las que se han expuesto hasta el momento, y que no se tienen en cuenta a la hora de elaborar los algoritmos de detección de incendio.

II. 3. Las redes neuronales artificiales (ANN)

Las redes neuronales artificiales o *artificial neural networks (ANN)* se pueden clasificar dentro de las técnicas de inteligencia artificial. Este tipo de técnicas en los últimos años se están aplicando en numerosas actividades cotidianas de los seres humanos; y su evolución en los campos como la robótica, la visión artificial, la gestión del conocimiento o la modelación de procesos físicos, hace de ellas unas herramientas con elevado potencial de desarrollo en el futuro.

II. 3.1. Conceptos básicos

El concepto de redes neuronales artificiales (ANN) aparece por primera vez en la década de 1940 ([McCulloch and Pitts, 1943](#)), y su fin era emular y comprender las funciones del cerebro humano y su sistema nervioso a través de la conceptualización del mismo en un modelo matemático de estructuras simples (neuronas) interconectadas; introduciendo por primera vez en la historia matemática los conceptos de umbral de activación o excitación neuronal.

Desde entonces este tipo de sistemas se fue desarrollando, pero fue en la década de los 80 cuando se dio un salto cualitativo, ya que se introdujo el algoritmo de retropropagación del error de una red neuronal ([Rumelhart et al. 1986](#)), con el cual una red era capaz de resumir errores a fin de alcanzar mejores resultados. Este algoritmo supuso que este tipo de sistema pudiera ser aplicado a multitud de áreas ingenieriles, produciéndose en la actualidad multitud de estudios exitosos de la aplicación de redes neuronales.

Con todo, aun a día de hoy es difícil encontrar una definición unificada para las redes neuronales artificiales. Una que cubre muchos de los aspectos mencionados por la mayoría de los autores podría ser la que las define como un procesador distribuido en paralelo compuesto por unidades de proceso elementales (nodos o neuronas artificiales) masivamente interconectadas entre sí y con organización jerárquica, con capacidad de adquirir conocimiento de tipo experimental con capacidad para simular y predecir procesos no lineales ([García, 2005](#)).

Las ANN se basan en las siguientes reglas ([ASCE, 2000](#)):

1. El procesamiento de la información tiene lugar en muchos elementos individuales llamados nodos, también llamados unidades, células o neuronas

2. Las señales son transmitidas entre los nodos a través de enlaces de conexión
3. Cada enlace tiene asociado un peso que representa la potencia de su conexión
4. Cada nodo aplica una transformación no lineal llamada función de activación a su red de entradas para determinar su señal de salida

Y a su vez se pueden caracterizar por su arquitectura, que representa el patrón de conexión entre nodos, por el método de conexión de los pesos sinópticos y por su función de activación. Una red neuronal típica consta de un número de nodos que están organizados de acuerdo a un arreglo particular. Una forma de clasificar las redes neuronales es por el número de capas: única, bicapa o multicapa. La capa de entrada recibe las variables, una o varias capas ocultas conectadas con la capa anterior y con la siguiente pero que no interconecta sus propios nodos (la excepción son las redes neuronales recurrentes) procesan los datos y finalmente una capa de salida aporta la salida (o salidas) del modelo o predicción del proceso analizado. Las ANN pueden también ser categorizadas por la dirección del flujo de la información y del procesamiento. La topología de las ANN, el número de capas ocultas y la cantidad de nodos en cada capa, se determinan por medio de iteración.

II.3.2. Ventajas y limitaciones de las ANN

Son muchas las ventajas y limitaciones que se podrían argumentar a favor y en contra de las ANN; sin embargo a continuación se destacan algunas de las más importantes ([Espinoza, 2010](#)):

- Ventajas:
 - La ventaja más importante de las ANN se encuentra en la resolución de problemas que son demasiado complejos para las tecnologías convencionales, problemas que no tienen una solución algorítmica o problemas en los que la solución algorítmica es demasiado complicada para ser identificada
 - Proporcionan una alternativa analítica a las técnicas convencionales que frecuentemente están limitadas por estrictas hipótesis de normalidad, linealidad, independencia, etc.
 - Por su facilidad para capturar muchas clases de relaciones, permiten al usuario de una forma relativamente fácil modelar fenómenos que con otras metodologías podría resultar muy complicado o incluso imposible

- Limitaciones:
 - Las teorías matemáticas usadas para garantizar el desempeño de las ANN aplicadas están aún en desarrollo
 - Inestabilidad para explicar los resultados que obtienen
 - Problemas de escalabilidad, prueba y verificación
 - El producto final de la actividad de una ANN es una red que no proporciona ecuaciones o coeficientes que definan una relación (como en los modelos de regresión) que vaya más allá de su propia matemática interna. La red es la ecuación final de la relación.

II.3.3. Aplicación de las ANN para modelación de incendios forestales

Uno de los principales retos para la gestión forestal es la mejora del modelado del riesgo de incendio ([Platt et al., 2011](#)), debiéndose buscar modelos que sean capaces de integrar aspectos científicos de forma sencilla a la realidad ciudadana, y en consecuencia a los discursos políticos ([Krott, 2012](#)), por lo que deben buscarse aquellos modelos que sean de simple aplicación por los agentes encargados de la lucha y prevención de incendios.

La investigación en este tipo de modelos es antigua teniéndose referencias desde los años 30 ([Wright, 1933, 1937](#); [Wright and Beall, 1938](#)), y ya a principio de los 70 se estructuró en Canadá un sistema de clasificación de riesgo de incendio ([Van Wagner, 1974](#)). A partir de entonces se empezaron a desarrollar índices de riesgo a nivel global ([Chandler et al. 1983](#)); los cuales fueron evolucionando hasta llegar a herramientas multicriterio altamente utilizadas en Europa como FOMFIS (*Forest Fire Management and Fire Preventio System*) ([Caballero et al. 1999](#)) que ofrece una medida de la probabilidad de incendio para un área de estudio en base a condiciones meteorológicas; o como las desarrolladas por el *Joint Research Centre of European Commision* ([San-Miguel-Ayanz et al. 2001](#)) que ofrece una evaluación del riesgo de incendio basadas en regresiones lineales. Desde entonces hasta ahora se han ido desarrollando múltiples herramientas con métodos probabilísticos diferentes ([Thompson and Calkin, 2011](#)); todas con el objetivo de intentar afinar lo más posible el índice de riesgo de incendio a la incidencia real de los mismos; sin embargo la capacidad predictiva de todos los métodos desarrollados está muy delimitada a la zona de estudio.

De todas las herramientas desarrolladas hasta la fecha, se utiliza en España a nivel institucional un sistema basado en el FWI canadiense ([magrama, 2014](#)), concretamente está basado en el *Canadian Forest Fires Danger Rating System* (CFFDRS) ([Stocks et al., 1989](#); [Van](#)

[Nest and Alexander, 1999](#)), el cual está subdividido en dos subsistemas: *Fire Weather Index* (FWI) ([Van Wagner and Pickett, 1985](#); [Van Wagner, 1987](#)) y *Fire Behavior Prediction* (FBP) ([Canada, 1992](#)). Los principales parámetros monitorizados en estos métodos son: velocidad del viento, temperatura, humedad relativa y precipitación. El FWI genera un índice de riesgo relacionado con la probabilidad de propagación del incendio, y sólo se basa en los datos meteorológicos tomados durante el día. A su vez, el índice se corresponde con tres tipos principales de combustible: combustible fino, materia orgánica ligeramente compacta y estratificada en capas de poca profundidad, y materia orgánica compacta en capas profundas. Así pues, para el mismo tiempo meteorológico el nivel de riesgo cambia según la naturaleza del combustible ([Sakr et al., 2011](#)).

Por su parte las redes neuronales no han quedado fuera del campo de investigación de predicción de incendios forestales, y han sido múltiples sus aplicaciones ([Vega-García et al. 1996](#); [Chuvienco et al. 1999](#); [Vasconcelos et al. 2001](#); [Alonso-Betanzos et al. 2003](#); [Vakalis et al. 2004 a,b](#); [Dimuccio et al. 2006](#); [Vasilakos et al. 2007](#); [Sakr et al. 2011](#)), demostrándose éstas como una herramienta de significativa habilidad para descubrir patrones en los datos que son imperceptibles a otros métodos estadísticos estándar ([Vasilakos, 2007](#)). Esta elevada utilidad de las redes neuronales en su aplicación a los incendios forestales no es casual, ya que son una herramienta que viene utilizándose exitosamente en campos tan distintos como imagen y reconocimiento de objetos ([Khashman and Sekeroglu, 2008](#)), reconocimiento de voz ([Yau et al., 2007](#)), robótica y visión computacional ([Jorgensen et al., 2008](#)), lenguaje natural y procesamiento de texto ([Ruiz-Pinales et al., 2008](#)), ingeniería biomédica y diagnóstico médico ([Alexandre et al., 2008](#)), neurociencia ([Iglesias and Villa, 2008](#)) o predicción de terremotos ([Adeli and Panakkat, 2009](#)) entre otras muchas disciplinas científicas.

Ante estas circunstancias en donde los sistemas de predicción de riesgo de incendios están muy limitados a sus zonas de estudio, y ante el éxito de las redes neuronales en otros estudios de incendios forestales, en la presente Tesis se han desarrollado unas herramientas específicas y de fácil aplicación para estudiar una zona específica de alto valor medioambiental; se trata de redes neuronales probabilísticas (PNN) ([Specht, 1990](#)), las cuales tienen una serie de ventajas sobre otras redes ([Wasserman, 1993](#)):

- No requieren una fase de entrenamiento separado
- Casos de entrenamiento adicional pueden ser fácilmente introducidos en las PNN
- Las PNN ofrecen una clasificación robusta aun con datos que tienen ruido

Para la elaboración de estas herramientas, en 2009 se inició el trabajo de recopilación de los datos de incendios habidos en el paraje natural estudiado, los cuales llevan recabándose desde 1968 por diferentes organismos; a su vez se recabaron los datos meteorológicos in situ a través de una estación meteorológica que recopilaba datos de Temperatura, Humedad y Velocidad del Viento cada 30 segundos durante un periodo de más de 11 años. El desarrollo y resultado del estudio se presenta en el próximo capítulo.

Capítulo III
Caso de estudio



Capítulo III: Caso de Estudio

El caso analizado en la presente Tesis, y que servirá de base para las *Aportaciones metodológicas* planteadas en el siguiente capítulo, consiste en un sistema de detección de incendios mediante cámaras infrarrojas, que vigila la aparición de incendios en el área de la Devesa de la Albufera de Valencia. Para su análisis se ha dividido el presente capítulo en dos partes diferenciadas:

En la primera parte se describe el caso de estudio desde todos sus ángulos; abordando tanto una descripción física de la Devesa, como su caracterización como parque periurbano. Acto seguido, una vez descrita la zona vigilada, se describe la red neuronal desarrollada para determinar niveles de riesgo de incendio en la misma. Por último, se realiza una descripción del sistema de detección de incendios instalado en la Devesa.

Mientras, en la segunda parte del presente capítulo, se detallan los resultados y conclusiones obtenidos del presente caso de estudio desde tres puntos de vista, por un lado se exponen los resultados obtenidos del análisis de incendios en la zona, por otro se exponen los resultados obtenidos del análisis del sistema de detección de incendios forestales mediante cámaras infrarrojas; finalmente, se exponen las conclusiones obtenidas del análisis de los resultados y que servirán de punto de partida para las *Aportaciones Metodológicas* aplicadas en el siguiente capítulo, gracias a las cuales se mejora el modelo de predicción de incendios, se disminuye el número de alarmas no reales generadas, además de realizar una clasificación de las alarmas tanto en función de su riesgo físico como de su nivel de probabilidad de incendio.

III.1. Descripción del caso de estudio

Para la elaboración de la presente Tesis se han recopilado datos de incendio forestal en la zona de estudio desde 1967 hasta 2012; además se ha estudiado el sistema de detección de incendios mediante infrarrojos durante el periodo 2007-2012, analizándose 10.519 alarmas no reales en el periodo Noviembre 2007-Enero 2010, que abarca el *Caso de estudio*, y 4.230 alarmas no reales en el periodo Noviembre 2010-Enero 2012, que abarca las *Aportaciones al caso de estudio*.

Junto con esto, se han estudiado los niveles de riesgo de incendios en la Devesa de la Albufera ofrecidos por la AEMET durante el periodo 2005-2011, los cuales han sido comparados con los resultados de la red neuronal realizada a partir de los datos meteorológicos recopilados por el Centro de Estudios Ambientales del Mediterráneo (CEAM)

en la zona durante el periodo 1999-2011 y por el Sistema de Información Agroclimática para el Regadío (SIAR) durante el periodo 2010-2012. Toda esta elevada cantidad de datos utilizados para la elaboración de la Tesis hace que sea necesaria una subdivisión de sus apartados para poder entenderla; es por ello que este apartado se ha subdividido en tres partes.

Por un lado se explica con detalle las características que tiene la Devesa de la Albufera de Valencia, que hacen que sea una zona de especial protección y que explica el interés que se tiene en la disminución de los incendios en la misma.

Por otro lado, se detalla el análisis realizado mediante la red neuronal, en donde se explica en qué se caracteriza el funcionamiento de la red neuronal y por qué ha sido éste el modelo matemático elegido para el análisis de la probabilidad de incendio. Así como también se detallan los datos y parámetros utilizados en el desarrollo de la misma.

Finalmente, se expone el funcionamiento del sistema de detección de incendios mediante cámaras infrarrojas estudiado en la Devesa del Saler; así como los datos meteorológicos utilizados para analizar su relación con la eficiencia del mismo.

III.1.1 Descripción de la Devesa

En el presente apartado se realiza la descripción del medio físico de la Devesa de la Albufera de Valencia, en donde se describen de forma básica sus principales características en relación a su encuadre geográfico, hidrología, clima, geomorfología, vegetación, fauna y medio litoral basándose en la información que la Conselleria de Infraestructuras, Territorio y Medio Ambiente de la Comunidad Valenciana ofrece sobre el Parque Natural de la Albufera de Valencia. Además, debido a la especial relevancia histórica de la Devesa como coto real de caza hasta principios del siglo XX, también se ha incluido una pequeña reseña histórica de la misma.

III.1.1.1 Reseña histórica de la Devesa

La Devesa de la Albufera es un cordón litoral arenoso que se extiende paralela a la costa en la parte Sur del término municipal de Valencia (Horta Sud) hasta llegar a Cullera (Ribera Baja), separando el lago de la Albufera del Mar Mediterráneo. Existiendo tres aberturas de comunicación entre ambos denominados “Golas”, de las cuáles sólo la más meridional, denominada “Gola del Perelló”, parece ser natural. La “Gola del Perellonet” se construyó en 1903. Mientras que la “Gola de Pujol”, que es la más moderna, se construyó en 1953, al sur de una estrecha Gola que ya existía (la Gola del Pujol Viejo), y se hizo por problemas de desagüe de la Albufera y por la presión de los arroceros.

Hoy en día, y debido a la fuerte presión antrópica existente a lo largo de todo el litoral valenciano, la Devesa de la Albufera se limita a unos 14 km de longitud, que van desde el pueblo de Pinedo hasta el Perellonet, y a una anchura variable de 500 a 1000 m según zona.

La Devesa y la Albufera forman un conjunto de elevado valor ecológico, motivo por el que fue el primer parque natural creado por la Generalitat Valenciana en 1986. Pero esta consideración de espacio natural protegido no es nueva ya que, desde la conquista del antiguo Reino de Valencia por Jaume I, la Devesa ha sido un espacio natural protegido de forma general, concretamente desde el año 1238, cuando la Devesa de la Albufera pasó a ser propiedad de Jaume I y sus sucesores, convirtiéndose en Coto Real de Caza que incluía tanto el lago de la Albufera como el monte al que da nombre.

Este hecho fue de trascendental importancia porque hizo posible la conservación del monte de la Devesa hasta fechas recientes, ya que evitó la tala de árboles, el pastoreo abusivo, los desmontes y todo tipo de transformaciones en dicho lugar ([Rubio et al., 1998](#)).

En 1865 la Devesa de la Albufera quedó fuera de la relación de bienes del Real Patrimonio, pasando a ser agregada al Patrimonio del Estado. Sin embargo, el cambio de dueño no afectó a su condición de reserva de caza y, en consecuencia, pudo continuar alejada de todo tipo de manipulación especulativa; hasta que en 1927 se produjo la cesión de la misma al Ayuntamiento de Valencia por parte del rey Alfonso XIII.

Una vez la Devesa fue propiedad del Ayuntamiento de Valencia, se propuso un desarrollo turístico en la zona, promovido por hasta cuatro alcaldes. Los primeros esbozos de urbanización datan del año 1954. Fue en 1955 cuando el ayuntamiento vio aprobado por el gobierno nacional su plan de urbanización, que pretendía la construcción de canales de desagüe, la conversión de los cortafuegos en caminos pavimentados, la construcción de chalets en la zona de dunas y la construcción de hoteles y restaurantes, entre otras actuaciones.

Sin embargo la riada de 1957 trastocó y retrasó cualquier plan turístico que la ciudad tuviera, y no fue hasta 1960 cuando se hizo el primer concurso de ideas para la urbanización del Saler. Resultando ganadora del concurso la empresa *Tevasa*. El empujón definitivo al proyecto se dio en julio de 1962. En ese momento el gobierno nacional tenía un plan impulsor del turismo español a través de la creación de una red de paradores, habiendo sido elegidas Valencia y su Devesa para tal fin, debido a las condiciones naturales excepcionales que se reunían en un espacio tan próximo a una gran ciudad. Así pues, en diciembre de 1964, la ciudad puso en marcha el acuerdo que permitió la urbanización: cedió al Ministerio el terreno necesario para construir el parador del Saler y trazar el campo de golf colindante. Como contrapartida, pudo poner en marcha el proceso urbanizador, que se desarrolló a lo largo de la década de los sesenta. El parador de turismo, actualmente reformado, comenzó a funcionar en 1966.

Sin embargo, existían protestas ciudadanas por la urbanización de la zona; que consiguieron que en 1973 se suspendiera la subasta de parcelas y se revisara el proyecto de la urbanización por completo. No se subastaron más parcelas desde ese momento y, posteriormente, se revisó todo el expediente. Cuando el primer alcalde democrático llegó al Ayuntamiento, la urbanización de la Devesa estaba congelada. Y, una vez detenido el daño, se han ido disponiendo actuaciones para subsanar el impacto ambiental producido.

En la actualidad, debido a la mayor conciencia ecológica suscitada en la sociedad y al interés científico de la zona, tanto la Generalitat Valenciana, que ostenta la dirección del Parque Natural de la Albufera, como el Ayuntamiento de Valencia, como propietario del monte de la Devesa y que cuenta con la Oficina Técnica Devesa-Albufera, se encargan de la gestión y conservación de este espacio natural.

III.1.1.2 Descripción del medio físico

La Devesa de la Albufera corresponde al cordón litoral que separa el Mar Mediterráneo del lago de la Albufera, es por ello que la descripción del medio físico de la Devesa, no puede hacerse sin describir el medio físico del Parque Natural en el que está enclavada: el de la Albufera de Valencia. En el presente apartado se hace una descripción del medio físico de este parque, haciendo especial hincapié en la descripción de la vegetación, ya que esta descripción es la que tiene mayor correspondencia con la de la Devesa.



Figura 14: Mapa de la Albufera y su Devesa

Fuente: www.albuferadevalencia.com

III.1.1.2.1 Encuadre geográfico

El Parque Natural de la Albufera, con una superficie de 21.000 hectáreas, se sitúa en el sector sudoriental de la Plana de Valencia, 9 km hacia al sur de la ciudad de Valencia. El parque incluye toda la línea de costa situada entre el nuevo cauce del Turia y los montes de Cullera, junto con el lago de la Albufera y todos los arrozales que rodean a éste, hasta el río Júcar.

Esta extensa llanura queda enmarcada por elevaciones pertenecientes al Sistema Ibérico, de orientación genérica NW-SE, constituyendo una zona geológicamente deprimida y subsidente, desde el Mioceno. El origen del lago se remonta a comienzos del Pleistoceno, tras el cierre del antiguo golfo por un cordón litoral. Esta restinga se formó, hace aproximadamente 6.000 años, por los aportes sedimentarios de los ríos Turia y Júcar y por la acción marina, donde el oleaje y las corrientes litorales transportaron los sedimentos hasta formar la barra arenosa (La Devesa) que aisló a la Albufera del mar Mediterráneo, siendo alimentada por las aguas dulces de barrancos, acequias y manantiales denominadas *ullals*, que se extiende desde Valencia hasta Cullera.

III.1.1.2.2 Hidrología

La cuenca hidrográfica de la Albufera se sitúa entre las de los ríos Turia al norte y Júcar al sur, el lago se alimenta de los caudales generados en la cuenca y aportes de riego y aguas subterráneas. La cuenca ocupa una superficie de 91.700 ha y su origen arranca de las últimas estribaciones del Macizo Ibérico. La máxima elevación es de 1.042 m en el sector occidental y la altitud media de la cuenca es de alrededor de 150 m. En esta se puede diferenciar una zona alta, por encima de los 400 m, de uso fundamentalmente forestal, una zona media entre los 400 m y los 20 m, de uso agrícola (viñas y algarrobos) y una zona baja en la que predominan los cultivos de arroz, hortícolas y cítricos.

En lo que respecta al drenaje de la cuenca al lago, se realiza fundamentalmente a través de seis barrancos: Picassent, con una cuenca de 100 km², Hondo (24 km²), Fond de Berenguera (18 km²), del Agua (42 km²), de Montes (92 km²) y, sobre todo, el barranco de Torrent o Xiva (417 km²). Además, vierten al lago los excedentes de las acequias derivadas de los ríos Turia y Júcar, por sus márgenes derecha e izquierda, respectivamente, que aportan cantidades del orden de 110 Hm³/año.

La Albufera está situada en el extremo centro-oriental del sistema acuífero miocuaternario de la Plana de Valencia, cuya extensión total es de unos 1.200 km², con un

espesor medio saturado de 100 m que representa un volumen de agua próximo a 6.000 Hm³ de reserva, y con unos recursos medios anuales de unos 700 Hm³.

El sector ocupado por los marjales y el lago presenta un subsuelo permeable, pero saturado por aguas saladas y salmueras (aguas fósiles) que se comportan como una barrera impermeable para el resto del acuífero, dando lugar a un ascenso del flujo de agua dulce a lo largo de la interfase agua dulce-salada; esto da lugar a la existencia de numerosos manantiales (*ullals*) a lo largo del borde oeste del marjal. El balance hídrico anual, calculado para un año medio del período 1973-1977, se encontraba próximo a los 800 Hm³, en su mayoría procedentes de los excedentes de riego y vaciado de los marjales.

Las aguas del lago presentan un contenido salino en torno a 2 g/l, concentración ligeramente superior a la de las aguas superficiales que llegan a él procedentes de los ríos Turia y Júcar a través de las redes de acequias, en general inferior o muy próximo a 1 g/l.

III.1.1.2.3 Descripción del clima

El clima de la comarca se encuadra en el tipo mediterráneo, según Thornthwaite, semiárido, sin excesos de agua y con baja concentración estival de la eficacia térmica. La temperatura media anual ronda los 17° C. La oscilación térmica es muy reducida como consecuencia del efecto suavizante del mar, no superando normalmente los 1,5° C. Agosto es el más cálido (25° C) y el más frío Enero (10° C de temperatura media).

La precipitación media anual es de 450 mm, que oscilan entre los 427 mm de Valencia y los 576 mm de Cullera, y se caracteriza por una gran irregularidad interanual, rasgo fundamental de este tipo de clima, con un máximo en otoño (Octubre) y otro máximo secundario entre febrero- mayo, y un período seco en los meses de verano.

El balance hídrico resulta deficitario para el conjunto de la comarca, ya que la diferencia entre el total pluviométrico y la evapotranspiración potencial alcanza un valor próximo a los 400 mm/año, correspondiendo el déficit de humedad al período comprendido normalmente entre los meses de mayo y septiembre.

III.1.1.2.4 Geomorfología

Según diversos estudios realizados durante la década de los setenta, el lago se conformó hace unos 6.000 años. La velocidad media de avance de la flecha original durante su formación se ha estimado en unos 100 m/siglo; esta flecha partiría desde el abanico deltaico del río Turia

hacia el sur, que es el sentido general de la deriva litoral y del efecto de las corrientes sobre la costa.

Aislados entre los sedimentos holocénicos de este sistema han sido reconocidos diversos afloramientos de materiales más antiguos; por una parte, se encuentra la denominada Muntanyeta dels Sants (Sueca), que es un afloramiento de dolomías y calizas cretácicas, y por otro, la Penyeta del Moro, otro singular afloramiento situado entre las dunas del Perellonet que corresponde a eolianitas pleistocénicas que evidencian la existencia de un cordón pretérito al actual.

Destacan los relieves topográficos de origen cretácico situados en el término de Cullera (el Cabeçol y la Muntanya de les Rabosses). Se reconocen cinco unidades morfológicas que son la playa, los cordones dunares, los marjales y la Albufera, los derrames del glacis y el glacis propiamente dicho y llanuras de inundación.

La playa es bastante uniforme a lo largo de todo el sistema, con una anchura media de unos 30 m, y constituida por arenas con ocasionales bancos y lentejones de grava y cantos. Los cordones dunares se localizan en el tramo de restinga que se extiende entre Pinedo y El Perelló y que presenta una singular morfología dunar de gran valor paisajístico, a pesar de las actuaciones antrópicas negativas que ha sufrido en los últimos años.

En general, se diferencian dos grandes alineaciones de dunas paralelas a la costa y separadas por un surco interdunar. La alineación más interior y próxima al lago y los marjales es la más antigua. Se encuentra fijada por la vegetación y su orientación responde al paleoviento procedente del este. La anchura de esta alineación oscila entre 300 y 600 m y alcanza cotas de hasta 7 m sobre el nivel del mar. La alineación de dunas externas, inmediata a la playa, está formada por dunas de tipo transversal; presenta anchuras comprendidas entre 150 y 300 m y alturas máximas hasta de 14 m sobre el nivel del mar. El surco interdunar se presenta como una zona deprimida sublacustre, retocada en la actualidad por aterramientos y drenes artificiales. En estos sectores las cotas topográficas y piezométricas son similares, por lo cual llegan a producirse encharcamientos ocasionales y una intensa evapotranspiración, lo que favorece un aumento de la salinidad del agua por concentración.

Los marjales y albufera constituyen una zona palustre formada por limos orgánicos grises, más o menos turbosos. El lago está comunicado con el mar por tres canales o "golas", de las que tan sólo la meridional (Gola del Perelló) parece ser natural y corresponder a la antigua

bocana; las otras dos fueron construidas a principios (Gola del Perellonet) y a mediados (Gola del Pujol) de siglo XX. Las tres se encuentran reguladas mediante compuertas.

Los derrames de glacis constituyen unas típicas orlas que bordean por el interior a los marjales, procedentes del lavado de los limos de glacis de inundación que las limitan generalmente. El glacis y llanuras de inundación descienden desde los suaves relieves situados hacia el interior de la Plana de Valencia, con pendientes muy suaves. En las proximidades de los ríos Turia y Júcar la llanura está constituida por limos pardos fluviales, originados por desbordamientos ocasionales de estos dos ríos. En el sector intermedio predominan los limos de tonalidad pardorrojiza.

El valor geológico de este sistema litoral es excepcional, tanto desde el punto de vista dimensional y paisajístico como por la singularidad y variabilidad de sus distintos componentes geomorfológicos.

III.1.1.2.5 Descripción de la vegetación

El ecosistema de la Devesa se ha desarrollado sobre un medio adverso con suelos pobres, falta de humedad edáfica, temperaturas elevadas y vientos salinos. La vegetación se ha desarrollado a varios niveles y existen numerosas asociaciones, algunas singulares como las halófilas de las malladas (zonas bajas, húmedas y salinas) y los coscojales pos-incendios.

Desde el punto de vista forestal y paisajístico, destaca la importante masa arbórea que, a rodales, se extiende de Norte a Sur en situaciones protegidas del impacto directo de los vientos salinos de Levante.

Los materiales que la constituyen son fundamentalmente arenas cuarzosas que topográficamente se disponen en formaciones de antiguo origen dunar. Sobre este sustrato se desarrolla una variada y densa cobertura vegetal que se adapta a las diferentes peculiaridades de los distintos micro-ambientes de la zona.

Hay que reseñar los reducidos niveles de salinidad encontrados en los suelos arenosoles calcáreos de la zona, incluyendo a los suelos de primera línea. Todos presentan una distribución zonal, con un incremento notable de la vegetación a medida que la distancia a la playa aumenta. El incremento de la vegetación no guarda un paralelismo con las condiciones edáficas, que son muy semejantes en toda la zona, siendo la protección contra el efecto abrasivo del viento el factor que interviene de forma decisiva.

Si realizamos un recorrido en línea recta desde el mar hasta el lago, en primer lugar se encuentra la playa con ausencia total de vegetación; seguidamente se halla un terreno declinado parcialmente vegetado que da lugar a sotavento a la zona que se taló, desbrozó y niveló durante el periodo de urbanización de la época franquista, que presenta una flora y vegetación muy adaptadas a la abrasión del viento.

Avanzando hacia el lago, el sustrato edáfico mantiene prácticamente las mismas propiedades físicas y químicas, pero debido a la mayor protección del viento marino (vegetación herbácea y arbustiva de la primera línea), se desarrolla una vegetación más densa y evolucionada. Como última etapa de esta secuencia de distribución, se encuentra una zona que presenta una vegetación de mayor desarrollo, con densa y abundante cobertura vegetal y que incluye todos los estratos destacando las pinadas.

Por lo tanto, la vegetación existente en la zona de estudio está fuertemente condicionada por el efecto abrasivo de los vientos marinos, por la naturaleza de los suelos y por la acción antrópica. Se pueden distinguir tres ecosistemas diferenciados, una primera línea frente al mar, a continuación una segunda línea protegida del efecto del mar por la anterior y la vegetación de las depresiones o “malladas”.

En la primera línea, la vegetación es periódicamente “quemada” por los aerosoles marinos, se encuentra la típica vegetación psammófila adaptada a la fuerte acción abrasiva del viento.

Esta primera línea de vegetación es actualmente más ancha de lo que le corresponde debido a las obras de infraestructuras de urbanización realizadas en los años setenta, que eliminaron completamente la vegetación existente en la banda entre la playa y el camino de la Avenida de la Gola del Pujol, procediendo a nivelar los terrenos. Se destruyeron tanto los primeros cordones de arena como las depresiones, que fueron rellenadas. Desapareció de esta manera la cuña de adaptación y defensa de la vegetación, que permitía pasar gradualmente de las formas rastreras al matorral y al arbolado.

Estas alteraciones han tenido como resultado el paso de un área de vegetación equilibrada y estable, a una zona con calveros, carreteras, aparcamientos, alcantarillados y zonas degradadas en fase de lenta regeneración por lo adverso del medio. Tras más de 40 años desde las actuaciones señaladas, existe una lenta colonización hacia el clímax, apareciendo ejemplares de las especies características que existían en la zona antes de su tala, desbroce y arranque de raíz.

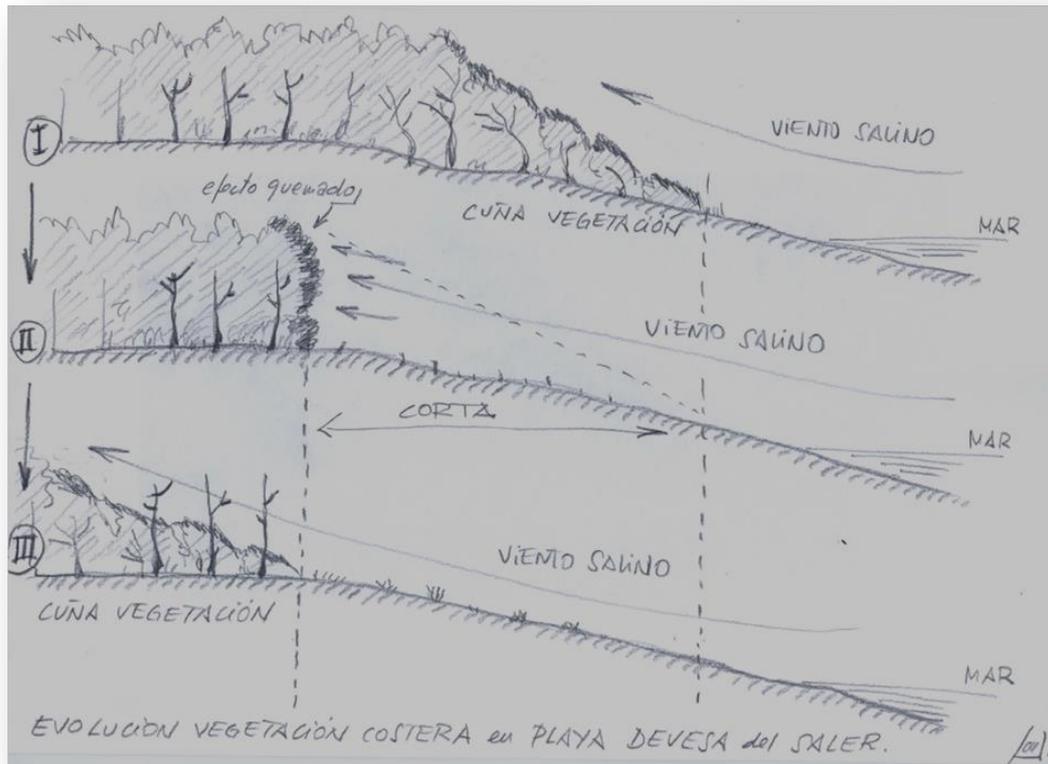


Figura 15: Esquema efecto de cortas en distribución vegetación y formación en cuña

Fuente: Elaboración propia



Figura 16: Fotografía de vegetación en cuña en inmediaciones urbanización Casbah

Fuente: Elaboración propia



Figura 17: Primera línea frente al mar. Ejemplar de pino (Pinus halepensis) en formación cuña por efecto viento salino. Suelo cubierto por vegetación. Al fondo hotel Sidi-Saler

Fuente: Elaboración propia



Figura 18: Primera línea frente al mar. Vegetación (Phillyrea angustifolia) en formación cuña por efecto viento salino. Suelo cubierto por vegetación. Al fondo hotel Sidi-Saler

Fuente: Elaboración propia



Figura 19: Efecto de quemado en la vegetación por efecto de los vientos salinos

Fuente: Elaboración propia

En la segunda línea, la vegetación se caracteriza por estar más protegida de los vientos salinos, existen densas formaciones de arbolado, y domina el matorral donde el fuego ha destruido al anterior. El paso de una a otra formación es gradual y se observa en la vegetación la característica cuña que provoca la sal transportada por el viento.

Se han realizado actuaciones para revertir los terrenos al estado anterior a las obras de urbanización. Se eliminó el paseo marítimo en todo el tramo en estudio, excepto en la fachada de la urbanización Casbah. El esquema general de la vegetación se representa en el siguiente gráfico:

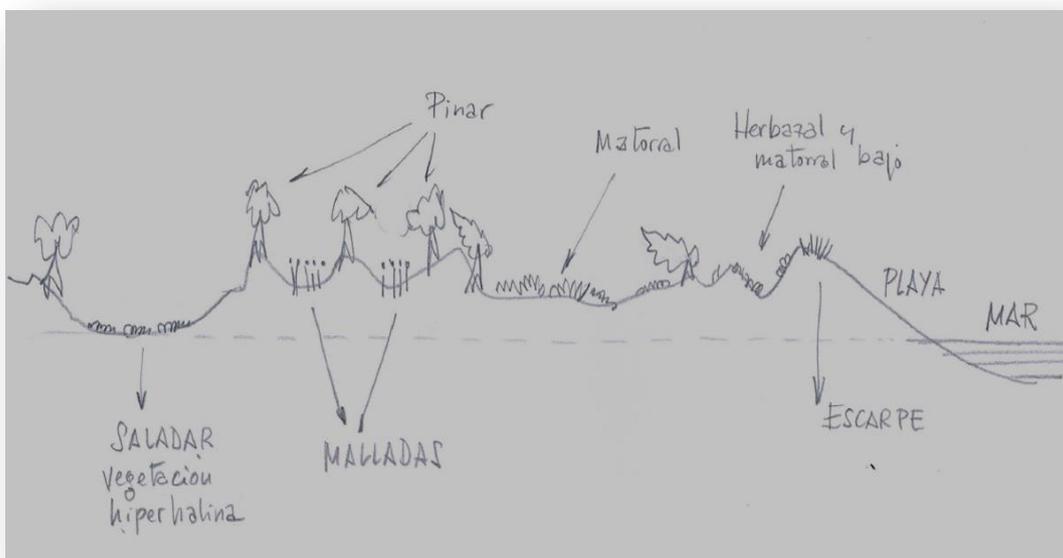


Figura 20: Esquema general de la distribución de la vegetación de la Devesa

Fuente: Elaboración propia

Entre la Avenida de la Gola del Pujol y la playa, la vegetación se encuentra en un proceso de recuperación hacia su estado natural después de su destrucción por la tala y nivelación de los terrenos en los procesos de urbanización.

Con todo, se pueden caracterizar las especies vegetales que se dan en cada una de las zonas existentes en la Devesa atendiendo a la siguiente diferenciación:

- *Cordón dunar inmediatamente cercano al mar (1ª línea):* Colonizado por una vegetación herbácea, constituida por gramíneas y plantas de porte rastrero,

resistentes a la acción abrasiva y química de los vientos que soplan del mar, con adaptaciones a un sustrato móvil y a la escasez de agua. Con especies como:

- en las zonas expuestas al mar el *Elymus farctus*, y *Sporobolus pungens*
- en la cara opuesta al mar vegetan la *Salsola Kali*, *Calisteria soldanella*, *Polygonum maritimum* y algún ejemplar aislado de *Malcomia littorea*
- en las zonas más protegidas vegetan especies como el *Helicrysum stoechas*, *Medicago marina*, *Eryngium maritimum* y *Launaea resedifolia*, aparecen algunas manchas de *Carpobrotus edulis* actualmente en fase de erradicación por la aplicación de normas para eliminar especies no autóctonas
- más hacia el interior, en zonas menos expuestas al viento del mar, aparecen especies como la *Crucianella marítima* muy característica, y ejemplares de *Centaurea*, *Ononis* y *Teucrium*, finalmente, en las partes más protegidas del viento y la sal, aparecen ejemplares de *Pistacia lentiscus* y *Pinus halepensis*



Figura 21: Vegetación en primera línea (al fondo urbanización Casbah)

Fuente: Elaboración propia

- *Cordón dunar interior (2ª línea)*: Con una morfología más regular debida a su mayor antigüedad y a la fijación y desarrollo de una vegetación densa y con estrato arbóreo, que puede desarrollarse aquí gracias a la acción protectora del primer cordón dunar frente a los vientos salinos. En esta línea aparecen especies como *Pistacia lentiscus* y *Pinus halepensis*. A medida que se entra en esta, la vegetación empieza a ser más densa y a existir más restos sobre el suelo. Alternan zonas de pinar con zonas de matorral denso en áreas que han sufrido incendios. Son especies que se encuentran presentes en esta segunda línea el *Pinus halepensis*, *Pistacia lentiscus*, *Phillyrea angustifolia*, *Rhamnus alaternus*, *Rhamnus lycioides*, *Daphne gnidium*, *Lonicera implexa*, *Asparagus acutifolia*, *Cistus clusii*, *Erica multiflora*, *Chamaerops humilis*, *Quercus coccífera*, *Ephedra distachia*, *Myrtus communis*, *Rosmarinus officinalis*, *Ruscus aculeatus* *Erica multiflora*, *Cistus salvifolius*, *Sedum sediforma* y algún, *Ammophila arenaria* y *Smilax aspera* entre otras, estas especies pertenecen a la Clase *Quercetea ilicis*
 - Esta segunda línea es la que tiene un mayor riesgo de incendio, ya que es la que alberga una mayor cantidad de combustible; la calidad del suelo puede considerarse como homogénea a lo largo de toda la Devesa, ya que la composición apenas varía en toda la línea (salvo aquellas zonas correspondientes a malladas), así como tampoco varía su pendiente, la cual se puede considerar plana a lo largo de todo el monte. La vegetación está dominada por el *Pinus halepensis*, cuyo número de pies es muy superior al resto de especies arbóreas, es por ello que se puede considerar este estrato como monoespecífico, sus edades están principalmente comprendidas entre los 0-50 años, siendo el número de pies con edades superiores a 50 años escaso.
 - La mayor cantidad de combustible en esta línea viene determinada por el elevado número de matorrales de elevado tamaño y gran densidad, lo cual le confiere una continuidad tanto horizontal como vertical, cuyo modelo de combustible de Rothermel asociado es el nº4 ([Rothermel 1972](#); [Albini 1976](#)), el cual se define como un modelo de matorral o arbolado joven muy denso de unos dos metros de altura; con continuidad horizontal y vertical del combustible. Abundancia de combustible leñoso muerto sobre las plantas vivas. El fuego se propaga rápidamente sobre las copas del matorral y árboles,

con gran intensidad y llamas grandes. La humedad del combustible vivo tiene gran influencia en el comportamiento del fuego. La cantidad de combustible en materia seca es de 25-35 t/ha.



Figura 22: Vegetación en segunda línea

Fuente: Elaboración propia

- *Malladas*: Las depresiones del terreno forman malladas o saladares. Se encuentran enclavadas a modo de pequeñas islas de terreno salpicadas por toda el área y sus superficies son variables. Están caracterizadas por tener suelos hidromorfos y salinos, que sustentan una vegetación muy especializada, constituida por praderas halófilas o hiperhalófilas. Por todos los bordes de estas áreas se puede apreciar una vegetación ruderal con la presencia casi constante de la *Lobularia marítima*. En el interior de las depresiones aparecen unas bandas de *Phragmites australis*, *Scirpus holoschoenus*, y *Dittrichia viscosa* presidida por *Plantago crassifolia*, es una vegetación característica de zonas marginales de los saladares. En el interior la vegetación pierde espesor y aparecen en los saladares matas de *Salicornia europea* (entre costras de sal) y *Arthrocnemum fruticosum*, también están presentes el *Juncus maritimus*, *Phragmites communis*, *Scirpus holoschoenus*, *Limonium vulgare*, *Juncus acutus*, *Inula crithmoides*, *Juncus maritimus*, *Elymus elongatus* y *Plantago crassifolia* entre otras especies.



Figura 23: Mallada

Fuente: Elaboración propia

- Por último, en la orilla de La Albufera, se instalan carrizales densos cuya existencia depende de la disponibilidad de agua dulce.



Figura 24: Carrizales

Fuente: www.albufera.com

III.1.1.2.6 Enumeración de la fauna

La fauna de la Devesa está íntimamente relacionada con la de la Albufera, pues muchas de las especies que anidan en el bosque se alimentan en el lago y en los arrozales, formándose un biotopo diferenciado en función de cada tipo de vegetación; siendo los principales biotopos de la Albufera ([Docavo, 1977](#)):



Figura 25: Distribución de Biotopos en la Albufera

Fuente: [Docavo, 1977](#)

Con todo, el Parque Natural de la Albufera tiene en la componente zoológica uno de los aspectos más valiosos. La fauna del Parque se caracteriza por su abundancia y diversidad de especies, tanto de vertebrados como de invertebrados. Hay que señalar la presencia de endemismos mediterráneos como los crustáceos denominados "gambetas" (*Dugastella valentina* y *Paleomonetes zariquieyi*), moluscos de los géneros *Unio* y *Anodonta* ("pechinots") y entre los peces ciprinodóntidos, el samaruc (*Valencia hispanica*) y el fartet (*Aphanius iberus*).

La importancia tanto de la Devesa como de La Albufera, como parque natural, reside en la avifauna; jugando un papel decisivo dentro del contexto general de las zonas húmedas europeas como área de invernada y nidificación de aves acuáticas junto a las tablas de Daimiel (Ciudad Real) y el Parque Nacional de Doñana. Desde el año 1990 el Parque Natural de la Albufera está incluido en la lista de humedales de importancia internacional, establecida en virtud del convenio de Ramsar de 2 de febrero de 1971, y desde el año 1991 está incluido en áreas ZEPA (Zona de Especial Protección para las Aves).

En la Albufera han sido registradas más de 350 especies de aves, de las que muchas son regulares o frecuentes a lo largo del año y otras ocasionales o divagantes. El principal valor de este espacio radica en las poblaciones de aves acuáticas presentes a lo largo del año, con cifras especialmente destacadas durante el periodo reproductor (*Iarolimícolas* y *ardeidos*) y en invernada. Durante los pasos migratorios la Albufera ofrece también un hábitat adecuado para muchas aves, sin embargo en determinadas épocas del año dicha capacidad de acogida se ve

drásticamente condicionada al ciclo del cultivo del arroz. Gran parte de la superficie del arrozal permanece seco durante varios meses al año, reduciéndose de este modo la posibilidad de albergar aves acuáticas.

La comunidad de aves acuáticas nidificantes está representada por poblaciones de somormujos (Podicipedidae, con dos especies), garzas (*Ardeidae*, con siete especies), patos (*Anatidae*, cinco especies), fochas (*Rallidae*, cuatro especies), limícolas (incluyendo *Recurvirostridae*, *Glareolidae* y *Charadriidae*, con cinco especies), gaviotas (*Lariidae*, con cinco especies) y charranes (*Sternidae*, con cinco especies). Destacan las poblaciones de charranes y garzas, con cifras que, en ocasiones, superan las 4.000 parejas respectivamente. Las zonas de vegetación palustre albergan una interesante población de *Passeriformes palustres*, entre las que destacan el carricerín real *Acrocephalus melanopogon*, la buscarla unicolor *Locustella luscionioides* o el bigotudo *Panurus biarmicus*. Mencionar además la presencia de especies nidificantes escasas como la cerceta pardilla *Marmaronetta angustirostris* (entre 1 y 4 parejas, según años) o el calamón común *Porphyrio porphyrio* (algo más de 100 parejas).

En invierno la Albufera acoge también a una importante comunidad de aves acuáticas, destacando las cifras alcanzadas por las *anátidas* (en ocasiones por encima de las 25.000 aves), las gaviotas (más de 20.000 aves) y los limícolas (más de 2.000 aves). Resultan también elevados los efectivos mostrados por grupos como las garzas (más de 2.000 aves) y de cormorán grande *Phalacrocorax carbo* (con cifras que llegan a superar las 3.000 aves). En este periodo se registran cifras destacadas de pato colorado *Netta rufina* (en ocasiones por encima de las 5.000 ejemplares) y, más recientemente, de ánade azulón *Anas platyrhynchos* (por encima de las 10.000 aves).

En los diferentes pasos migratorios también se registran cifras elevadas de algunos grupos de aves, en especial de limícolas que encuentran en el marjal un hábitat idóneo para obtener alimento. Entre febrero-marzo y julio-septiembre suelen registrarse números altos de aguja colinegra *Limosa limosa* (más de 2.000 aves en marzo), avefría europea *Vanellus vanellus*, chorlito dorado europeo *Pluvialis apricaria* (más de 500 aves), en el paso prenupcial, y de correlimos y archibebes en el paso postnupcial (más de 400 aves), periodo en el que se registran importantes concentraciones de especies como la canastera común *Glareola pratincola*, con más de 300 aves.

En el mar se registra también un elevado número de especies de aves marinas, especialmente gaviotas y charranes alimentándose durante el periodo nupcial, si bien destaca por su importancia la presencia de la pardela balear *Puffinus mauretanicus* que, en periodos concretos del año, pueden llegar a registrar concentraciones de más de 2.500 aves, y la gaviota de audouin *Larus audouinii*, regular gran parte del año.

III.1.1.2.7 Medio marino litoral

Pese a que, a priori, el medio marino litoral no guarda ninguna relación con los incendios forestales, el caso de la Devesa de la Albufera es singular, ya parte de su vegetación fija las dunas, haciendo que el sustrato inmediatamente adyacente bajo el mar sea más estable y pueda crecer en él un mayor número de especies. De hecho, un sector del ámbito marino en el frente litoral del Parque Natural ha sido incluido por la Conselleria de Medio Ambiente en la propuesta de Lugares de Interés Comunitario (LICs). La información disponible hasta el momento permite señalar la existencia de praderas relativamente extensas de *Posidonia oceanica* y *Cymodocea nodosa* en la mitad sur del área, entre la Devesa y El Dossel, principalmente a una profundidad entre -15 y -20 metros. Esta zona está situada frente al sector más urbanizado del frente litoral del Parque.

III.1.2. Caracterización de la Devesa como monte periurbano

Como se verá más adelante, la gran mayoría de los incendios forestales dados en la Devesa se inician por factores antrópicos, como son los descuidos de los visitantes, las quemas agrícolas incontroladas, la intencionalidad o la piromanía. Esta fuerte influencia antrópica en la existencia de incendios viene determinada por el elevado número de población que hay alrededor del Parque Natural, por el cambio de costumbres socio-económicas que ha sufrido la sociedad en las últimas décadas, y por la existencia de un elevado número de edificios singulares dentro de la masa forestal, que le confieren a ésta las problemáticas propias de una interfaz urbano-forestal.

Para luchar contra estos riesgos las diferentes administraciones involucradas en la lucha contra incendios en la Devesa de la Albufera disponen de un fuerte dispositivo de lucha y detección de incendios, así como realizan planes de prevención de incendios en los que se protocolizan los niveles de preemergencia de incendios y los riesgos físicos de incendio en función de la zona.

Todo este conjunto de características son las que hacen de la Devesa un monte periurbano con características propias, muy diferente de los montes al uso; y son las que pueden servir de referencia para poder comparar este monte con otros montes colindantes a grandes zonas pobladas, es por ello que se detallan todas esas características en el presente apartado.

III.1.2.1 Población

En la actualidad el desarrollo urbano e industrial ha supuesto un fuerte impacto en el Parque de la Albufera, se extiende bajo la influencia de los términos de Valencia, Beniparrell, Silla, Sueca, Cullera, Albal, Catarroja, Sedaví, Sollana, Alfafar, Massanassa, Algemesí y Albalat de la Ribera, contabilizando estos trece municipios una población cercana al millón de habitantes. El resultado ha sido una localización industrial y urbana desordenada.

Desde el punto de vista humano, se trata de una zona intensamente poblada, constituida por un denso entramado urbano-industrial que se extiende por el sector noroccidental, mientras que la franja litoral por su parte, presenta un intenso desarrollo turístico-residencial.

En lo referente a poblaciones instauradas en el interior del parque, El Palmar ha sido el núcleo arquetipo de la Albufera, aun no siendo muy claras sus raíces. La población más o

menos estable ya existía hacia 1762. A mitad de siglo XIX, estaba integrada por cinco casas y un centenar de barracas agrupadas en dos calles, donde habitaban 109 pescadores que figuraban como vecinos de Russafa (actual barrio del sur de Valencia). Después del incendio de 1885, algunas fueron sustituidas por casas más consistentes. La población ha ido en aumento: 479 en 1900, 817 en 1920, 1543 en 1950; pasando a 943 en 1970, y 928 en 1981, disminuyendo desde entonces hasta alcanzar los 775 habitantes en 2009.

El núcleo de barracas del Saler, al entrar el siglo, agrupaba solo 94 habitantes, pasando a 247 en 1960, gracias a la diversificación de los horizontes de vida y la obertura viaria. En 1970 eran 568 - sin contar unos 50 diseminados por alrededores del Poblado-, y 687 en 1981 cuando tan solo queda una barraca. En la actualidad es una pedanía de Valencia que cuenta con aproximadamente 1.700 habitantes.

El Perelló, situado en el término municipal de Sueca, participa de un tipo de hábitat y medios de vida semejante, gracias a los cuales el 31 de diciembre de 1900 censaba 413 habitantes, 719 en 1970 y 1092 en 1981, en la actualidad es un núcleo residencial que en verano multiplica considerablemente su población.

Pinedo contaba en 1900 entre pescadores de la mar y labradores con 187 habitantes, y actualmente cuenta con 2000 habitantes, diseminados incluidos.

Sueca y Sollana tienen mucha relación con la Albufera, como también Catarroja y Silla que, como el Saler, tiene puertos para facilitar el tránsito por el lago.

III.1.2.2 Medio socioeconómico

El aprovechamiento primario de los recursos naturales en el ámbito del parque natural es especialmente intenso. Esto es origen de algunos focos de incendio debido a la quema de rastrojos, sin embargo estos usos en lugar de haber sido prohibidos, han sido reglados ya que tanto el cultivo del arroz, como la caza y la pesca son actividades que han venido practicándose desde hace siglos y que forman parte de la tradición cultural y paisajística, estando relativamente integradas en el medio natural.

Otra de las problemáticas que amenazan al parque es la notable industrialización de la zona, así como la transformación del cultivo del arroz en un aprovechamiento intensivo de huerta mediante técnicas avanzadas, modificando notablemente el esquema de usos que se hallaba más o menos integrado en el sistema poniendo en peligro su estabilidad.

El uso agrario de la marjal define o condiciona una parte importante de los valores ambientales del parque, estando el cultivo del arroz contemplado dentro de la estrategia de desarrollo sostenible fomentada por el PRUG (Plan Rector de Uso y Gestión).

III.1.2.3 Edificios singulares dentro de la foresta

La Devesa, además de estar sometida a la presión antrópica de las poblaciones limítrofes analizada en los apartados anteriores, posee una de las principales características que confieren a las zonas de interfaz urbano-forestal un mayor nivel de riesgo, como es la existencia de edificios dentro de la masa forestal.

Y dado su fallido intento de urbanización de mediados del siglo XX, se han consolidado una serie de instalaciones y edificaciones de gran nivel de habitabilidad, especialmente en época estival y vacacional, dentro de un área forestal protegida. Todo lo cual produce que este paraje presente unas características de incendios diferentes a las que presentan otros parajes naturales que no están sometidos a tan fuertes presiones antrópicas.

A continuación se detallan los principales edificios singulares que hay en la Devesa ([SPEIS, 2013](#)):

Tabla 2: Edificios singulares en la Devesa

Tipo Edificación	Nombre – Direcc.	Sup (m²)	Nº Personas
Colegio Educación Especial	Sebastián Burgos	2707 (Planta Baja +1)	113 Alumnos + 60 Profesores
Instituto I.E.S.	I.E.S. Saler	4000 (Planta Baja +1)	420 Alumnos + 56 Profesores + 6 Personal Mantenimiento
Colegio	Luis de Santángel	4500 (Planta Baja + 1)	476 Alumnos + 42 profesores + 34 Personal Mantenimiento
Hotel	Patilla Avenida Los Pinares nº 8	5 Plantas	28 Habitaciones + 9 Personal Servicio
Hostal	Andrés C/ Anguilera nº 7	4 Plantas	28 habitaciones + 5 Personal Servicio
Camping	Collvert Ctra. Nazaret-Ollva	25000	1000 personas (ocup. Máx.) + 10 Personal Servicio
Camping	Park El Saler Ctra. Nazaret- Ollva	15000	400 personas (ocup. Máx.) + 5 Personal Servicio
Camping	Valencia Ctra. Nazaret- Ollva	20000	400 personas (ocup. Máx.) + 4 Personal Servicio
Camping	Jardines de Ocio Ctra. Nazaret- Ollva	30000	146 parcelas + 2 personal Servicio
Restaurante	La Dehesa Final Corta Fuegos Saler a orilla playa	150	
Restaurante	La Viña Final Corta Fuegos La Dehesa a orilla playa	130	
Hotel	Sidi Saler Avda. Gola Pujol, 19		276 habitaciones. Actualmente en desuso.

Fuente: [SPEIS, 2013](#)

Además de los anteriores edificios singulares, la Devesa también tiene en su interior viviendas, las principales están tabuladas a continuación.

Tabla 3: Viviendas situadas dentro de la Devesa

Nombre de la Urbanización	Nombre Edificio	Dirección	Nº Alturas	Nº Viviendas
Núcleo 5	Torre 1	Avda. Gola de Pujol, 1	12	47
	Torre 4	Avda. Gola de Pujol, 7	12	45
	Torre 5	Avda. Gola de Pujol, 9	12	46
	Torre 6	Avda. Gola de Pujol, 13	12	52
	Torre 9	Avda. Gola de Pujol, 17	12	52
Núcleo 6	Torre 8	Avda. Gola de Pujol, 21	10	40 + portería terraza
	Torre 7	Avda. Gola de Pujol, 23	10	40
	Torre 6	Avda. Gola de Pujol, 25	10	40 + portería terraza
	Torre 5	Avda. Gola de Pujol, 27	10	40 + portería terraza
	Torre 3	Avda. Gola de Pujol, 29	10	46
	Torre 1	Avda. Gola de Pujol, 33	10	51
Torres Rest. Lahíver	Torre A	Avda. Gola de Pujol, 6	9	38
	Torre B	Avda. Gola de Pujol, 6	9	38
Siena	Torre A	Avda. Gola de Pujol, 4	10	35
	Torre B	Avda. Gola de Pujol, 4	10	35
Torres Blancas	Torre A	Avda. Gola de Pujol, 8	11	38
	Torre B	Avda. Gola de Pujol, 8	11	38
Collvert	Torre A	Avda. Gola de Pujol, 10	16	56
	Torre B	Avda. Gola de Pujol, 10	16	56
Torres del Saler	Torre A	Avda. Gola de Pujol, 14	14	56
	Torre B	Avda. Gola de Pujol, 14	14	56
Torres del Saler	Torre A	Avda. Gola de Pujol, 18	14	70
	Torre B	Avda. Gola de Pujol, 18	14	70
Proval	Torre A	Avda. Gola de Pujol, 12	12	45
	Torre B	Avda. Gola de Pujol, 12	12	44
Proval	Torre A	Avda. Gola de Pujol, 24	12	45
	Torre B	Avda. Gola de Pujol, 24	12	44
Proval	Torre A	Avda. Gola de Pujol, 26	12	45
	Torre B	Avda. Gola de Pujol, 26	12	44
Casbah (Núcleo 2)		Avda. Gola de Pujol, 50-85	1, 3 y 4	78
Gavines III		Avda. de los Pinares, 73	3	103
Gavines I		Avda. de los Pinares, 75	3	103
Gavines III		Avda. de los Pinares, 77	1	64

Fuente: [SPEIS, 2013](#)

III.1.2.4 Recursos del dispositivo preventivo en la Devesa

Dadas todas las características explicadas hasta ahora, propias de la Devesa, las diferentes administraciones han dotado a la misma de una serie de recursos propios, a fin de prevenir lo máximo posible los posibles incendios y daños al medio ambiente. Estos recursos son ([SPEIS, 2013](#)):

- **RECURSOS MUNICIPALES**
 - *SERVICIO DE BOMBEROS, PREVENCIÓN E INTERVENCIÓN EN EMERGENCIAS:*
 - EL PARQUE DE BOMBEROS DE LA DEVESA, con guardia permanente durante todo el año, y cuenta con una dotación formada por 10 personas y 5 vehículos de extinción de incendios.
 - EL RETÉN DE BOMBEROS DEL SALER, el cual se reabre en época estival en previsión del riesgo que se genera en esta época, y cuenta con una dotación de 5 personas y 2 vehículos de extinción de incendios en guardia permanente desde el 21 de junio al 15 de septiembre de 2013.
 - SISTEMA AUTOMÁTICO DE DETECCIÓN DE INCENDIOS, mediante Sensores Térmicos, comúnmente denominado DISTER. Cuyo objetivo es identificar y localizar incendios en sus primeros instantes. Cuyo análisis y mejora se trata en la presente Tesis Doctoral.
 - *VOLUNTARIOS DE PROTECCIÓN CIVIL:*
 - 2 vehículos ATV con capacidad de extinción de conatos de incendio, 2 vehículos SEGWAY, 6 bicicletas, 2 vehículos todoterreno, 5 furgonetas y 2 motos eléctricas.
 - Realizan funciones preventivas desde el 21 de junio de 2013 al 15 de septiembre de 2013, todos los fines de semana y festivos, así como los días en que se declare el NIVEL DE PREEMERGENCIA 3 ante el riesgo de incendios forestales.
 - *POLICÍA LOCAL:*
 - DOS PATRULLAS DE POLICÍA LOCAL DOBLES "DUNA", con QUADS, motocicletas o vehículos todoterreno, desde el 30 de mayo hasta el 4 de septiembre.
 - PATRULLAS DE POLICÍA LOCAL DE BARRIO, UNIPERSONALES, de lunes a viernes durante todo el año, excepto fines de semana y festivos, en Pinedo, El Saler, El Palmar, El Perelló y El Perellonet.

- *SERVICIO DEVESA - ALBUFERA:*
 - Técnicos y operarios, con un total de trece personas, dedicados a trabajos de mantenimiento general de la Devesa.
 - Guardería Forestal Municipal. Compuesta por un cabo y siete guardas, con presencia permanente (de lunes a domingo, en turnos de dos o tres personas).
 - Contrata del Servicio de Conservación y Recuperación de la Devesa de la Albufera de Valencia, que cuenta con 2 coordinadores y 24 trabajadores repartidos en cuatro grupos de trabajo.
- **RECURSOS AUTONÓMICOS**
 - *CONSELLERÍA DE MEDIO AMBIENTE, AGUA, URBANISMO Y VIVIENDA*
 - Guardas del Parque Natural de la Albufera
 - *CONSELLERÍA DE GOBERNACIÓN Y JUSTICIA*
 - 1 Unidad de Prevención con vehículo todo terreno y dos motocicletas.
 - 1 Unidad Polivalente de Voluntarios.
 - 1 Unidad de Apoyo.
 - En caso de que se declarara el nivel de preemergencia 3 la Consellería de Gobernación y Justicia podría ordenar que se trasladara una brigada forestal a la zona de la Devesa de La Albufera.
 - Además de lo anterior, pueden movilizar otros recursos específicos en la materia, del resto de la Comunidad Valenciana a través del Centro de Coordinación de Emergencias de L'Eliana (112), así como los medios aéreos necesarios, incluso de la Administración Central del Estado, previa solicitud a Delegación del Gobierno.
- **RECURSOS ESTATALES**
 - *GUARDIA CIVIL. SEPRONA*
 - El Servicio de Protección de la Naturaleza (Seprona) posee una unidad adscrita al Parque Natural con base en el cuartel de Sollana.
 - *GUARDIA CIVIL. AGRUPACIÓN DE TRÁFICO. PUESTO DEL PERELLONET*
 - La Agrupación de Tráfico posee un puesto ubicado en la pedanía del Perellonet, disponiendo de personal las 24 h.

III.1.2.5 Niveles de preemergencia en la Devesa

La determinación del índice de peligrosidad de los incendios forestales en la Comunidad Valenciana la realiza la Agencia Estatal de Meteorología a través del Centro Meteorológico Territorial de Valencia. Esta determinación se efectúa con una antelación de 48 horas mediante una combinación de un índice de ignición y propagación de los incendios forestales, estableciendo tres niveles de gravedad:

- Nivel 1: situación de preemergencia con un grado de peligrosidad bajo-medio
- Nivel 2: situación de preemergencia con un grado de peligrosidad alto
- Nivel 3: situación de preemergencia con un grado de peligrosidad extremo

Dependiendo del nivel de preemergencia se realizan las actuaciones preventivas que se especifican en el Anejo II del Documento III del Plan Especial frente al Riesgo de Incendios Forestales ([Decreto 163/1998 del Gobierno Valenciano](#)).

La zonificación del riesgo de incendio se realiza en función de la época del año. Durante la época de máximo riesgo la Comunidad Valenciana se divide en siete zonas:



Figura 26: Zonificación del riesgo de incendio en la Comunidad Valenciana durante la época de máximo riesgo

Fuente: [Decreto 163/1998 del Gobierno Valenciano](#)

El resto del año la división del riesgo en lugar de siete zonas pasar a ser de tres, realizándose esta zonificación por provincias.

Este tipo de división en siete zonas es fruto de un análisis detallado de los mapas del riesgo y vegetación, por lo que se desprende que los terrenos con el máximo riesgo potencial se encuentran muy repartidos y difuminados por toda la comunidad.

Sin embargo, en este tipo de división no parece tenerse en cuenta la especial singularidad que tienen ciertas zonas forestales próximas grandes núcleos urbanos; como es el caso de la Devesa de La Albufera. Muestra de esta singularidad de la Devesa, es que el Servicio de Bomberos del Ayuntamiento de Valencia marca directamente riesgo extremo toda la época estival independientemente de que se active el Nivel 3 de Preemergencia por motivos meteorológicos ([SPEIS, 2013](#)).

III.1.2.6 Mapa de riesgo de incendio en la Devesa

La Devesa, además del conjunto de labores preventivas mencionadas hasta ahora, dispone, dentro de su Plan de Prevención de Incendios Forestales ([Parc albufera, 2014](#)), de un estudio específico del Riesgo Físico, el cual pretende evaluar de manera conjunta la probabilidad de que se inicie un incendio, junto con la peligrosidad que tendría, en cada punto, dicho incendio. Empleando las siguientes variables en su cálculo:

- Meteorológicas: humedad relativa, temperatura, velocidad del viento, para las condiciones meteorológicas extremadamente desfavorables ofrecidas por el Instituto Meteorológico Zonal de Valencia.
- Fisiográficas: pendiente, al ser un rango fundamental en propagación del incendio y exposición, que influye en la clasificación del modelo de combustible.
- Vegetación: tipo de combustible, existiendo una clasificación según el comportamiento de la vegetación frente al fuego.

Para su desarrollo, ha sido necesaria la utilización de herramientas informáticas de apoyo, siguiendo la metodología desarrollada por el Sistema Integral de Gestión de Incendios Forestales (SIGIF), basada en el Plan de Selvicultura Preventiva de la Comunidad Valenciana.

Dicho mapa es el que se muestra a continuación.

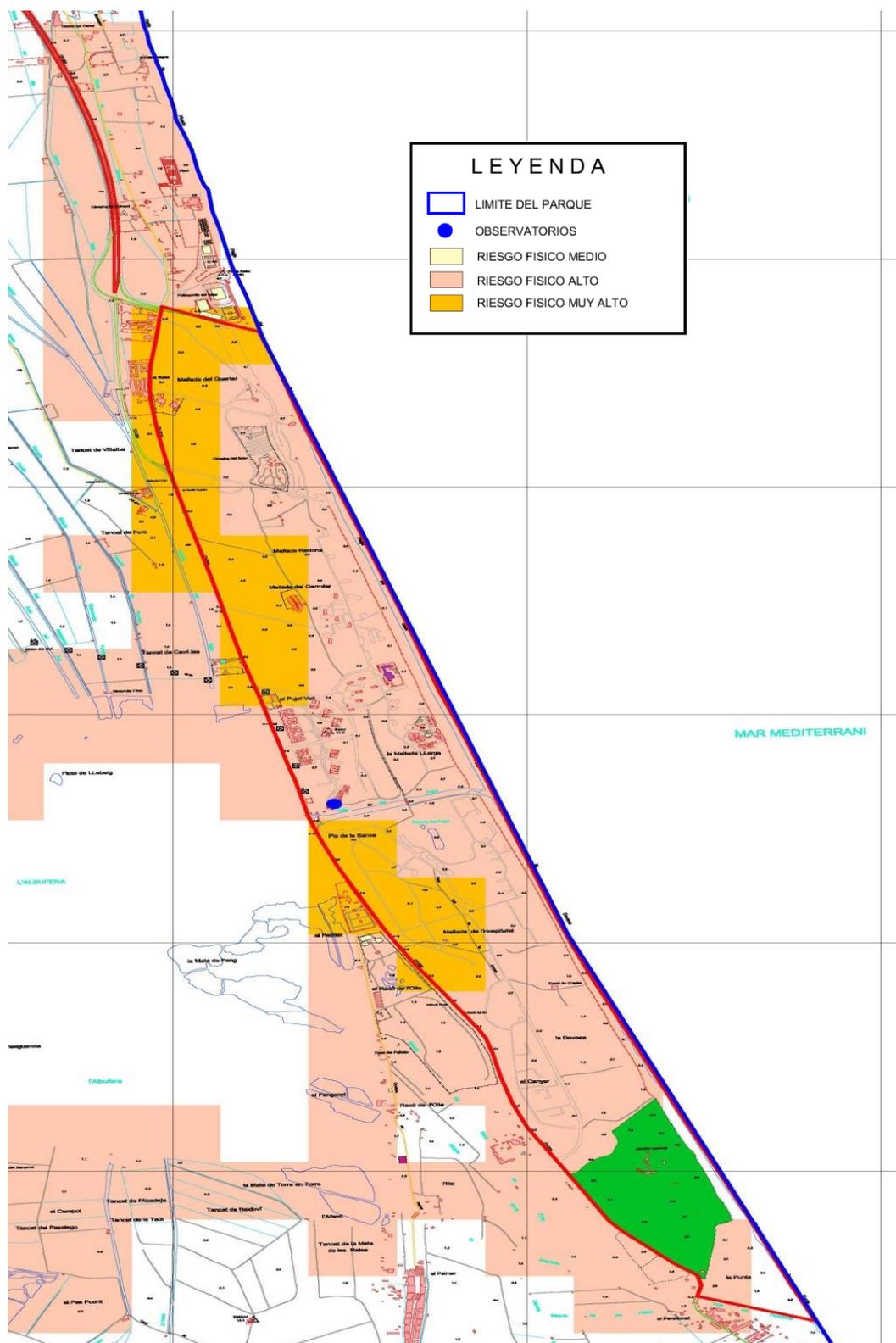


Figura 27: Mapa de Riesgo Físico en la Devesa

Fuente: [Parc albufera, 2014](#)

III.1.3 Descripción de la red neuronal

Todas las singularidades que posee la Devesa, que han sido explicadas a lo largo del capítulo, justifican el interés de desarrollar una herramienta específica que sea capaz de prever la probabilidad de incendio que pueda tener este paraje de tan alto valor ambiental.

Para el desarrollo de esta herramienta se ha considerado como más apropiado el uso de una red neuronal probabilística (PNN) debido a que, para poder modelizar diferentes escenarios de incendio, se debe de tener en cuenta una gran cantidad de informaciones y datos; para posteriormente relacionarlos, sintetizarlos, clarificar la esencia del funcionamiento y dinámica de los sistemas y, finalmente, obtener un valor numérico único que dé respuesta a la probabilidad real de incendio en la zona.

Ante esta circunstancia, las PNN tienen la gran ventaja de extenderse y crecer virtualmente sin límite (salvo el impuesto por la capacidad del ordenador), de forma sencilla y sin modificar la concepción y esquema funcional básico del modelo ([García, 2005](#)). Esto significa que permiten representaciones matemáticas de relaciones cuantitativas, mapeos multidimensionales y criterios probabilísticos, bajo un entorno formal y operacional único.

Si a ello unimos la probada habilidad de las PNN para operar con datos incompletos, con errores, o en modelación de sistemas con relaciones no bien comprendidas o indefiniciones, como es el caso que nos ocupa, se llega a la justificación del uso de este tipo de técnica de modelización como herramienta para predecir probabilidades de incendio.

Para una mayor profundidad en el estudio de la probabilidad de incendios, se desarrollaron dos redes neuronales de iguales características pero con diferente consideración del tamaño de incendio. Para la primera red se contemplaron todos los incendios de los que se tenían datos durante la época de estudio, incluyendo incluso aquellos pequeños conatos de incendio que fueron sofocados por los vecinos por sus propios medios. La segunda de las redes sólo contempló aquellos incendios que superaron la hectárea de superficie quemada, ignorando pues el resto de conatos de incendio. El desarrollo de ambas redes fue análogo, y es el que se detalla a continuación.

III.1.3.1 Variables utilizadas en la red probabilística

Las variables meteorológicas que influyen en los incendios forestales se pueden clasificar en dos grupos ([Vélez, 2000](#)):

1. Las que afectan a la posibilidad de inicio del fuego:
 - Radiación solar
 - Precipitación
 - Temperatura del aire
 - Humedad relativa
2. Las que inciden en la velocidad de propagación:
 - Velocidad del viento
 - Dirección del viento
 - Grado de estabilidad atmosférica

Sin embargo, todas estas múltiples variables que inciden en los incendios forestales ha forzado a los estudiosos a seleccionar los factores ambientales con más peso específico aparente ([Arnaldos et al, 2004](#)). Así pues, los factores meteorológicos que más interesan al combatiente de incendios forestales son la temperatura, la humedad relativa, los vientos locales y la estabilidad atmosférica ([Rodríguez, 1996](#)).

Con todo, como parámetros descriptores de la probabilidad de incendio en la red neuronal han sido utilizados aquellos mencionados anteriormente de los que se disponían datos fehacientes in situ, estos fueron:

- Temperatura
- Velocidad del Aire
- Humedad Relativa

Dadas las características topográficas de la Devesa se trató a toda su superficie por igual, ya que no hay diferencias de altura, altitud y pendiente, orientación ni formas orográficas, que son los factores que determinan las influencia de la topografía ([Arnaldos et al, 2004](#)).

III.1.3.2. Fuentes de los datos

La serie histórica de las variables meteorológicas anteriormente citadas fue facilitada por la Fundación Centro de Estudios Ambientales del Mediterráneo (CEAM), durante un período de tiempo de 10 años, del 1998 al 2008. Estos datos fueron facilitados con una frecuencia de medida de 30 minutos, lo cual implicaba un total de 5.256.000 datos para cada una de las variables. Sin embargo, para una mayor sencillez en el manejo de la red, y para una mayor adecuación de estos datos meteorológicos a los datos de incendios, se realizó una media diaria los mismos.

Desgraciadamente, actos vandálicos destruyeron la estación meteorológica del CEAM el 2008, los datos meteorológicos utilizados desde esa fecha en adelante corresponden a la estación que el Sistema de Información Agroclimática para el Regadío (SIAR) tiene en Picassent, la cual ofrece datos medios diarios de todas las variables mencionadas.

El total de datos meteorológicos medios diarios fue relacionado con los datos de incendio en la Devesa. La obtención de dichos datos de incendio se obtuvo a través de dos entidades, por un lado la Oficina Técnica Devesa-Albufera (OTDA) facilitó una larga serie histórica de incendios, de los que se usaron los comprendidos durante el intervalo de 1998 a 2009. Esta serie histórica fue comparada, corregida y completada hasta Enero de 2010 con la serie histórica de intervenciones de extinción de incendios en la Devesa facilitada por el Servicio de Bomberos, Prevención e Intervención en Emergencias del Ayuntamiento de Valencia.

Con todo ello, se obtuvo un conjunto de datos meteorológicos diarios que, durante un periodo de diez años, relacionaban variables meteorológicas con existencia o ausencia de incendio. Así pues, se tenía un total de 3.565 datos para cada una de las variables estudiadas.

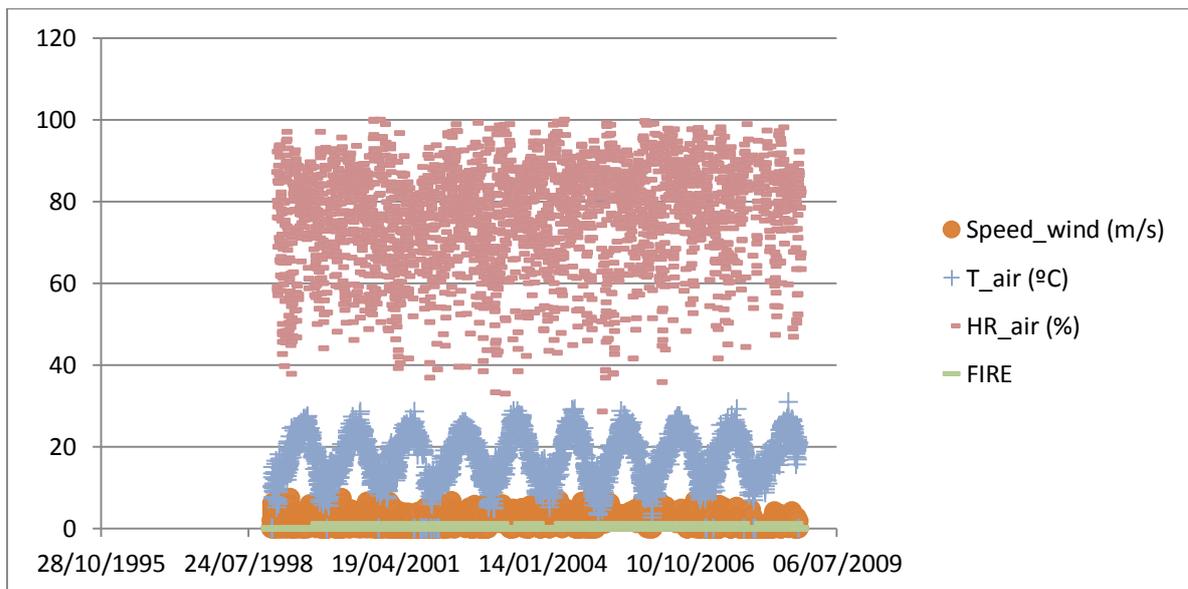


Figura 28: Dispersión de datos iniciales

Fuente: Elaboración propia

III.1.3.3 Elección de Inputs y Outputs de la red

Tras analizar el conjunto de datos se determinó que, para la correcta definición de los incendios, era necesario incluir la inercia que las condiciones atmosféricas tenían sobre la masa vegetal; así como aglutinar temporalmente las variaciones estacionales de estas variables en diferentes períodos a lo largo del año. En consecuencia, se llegó a la resolución de añadir al conjunto de las tres variables meteorológicas la inercia temporal incluyendo, además de los datos medios diarios como hasta el momento, la media que tenían las mismas variables atmosféricas durante los cuatro días anteriores al día estudiado; mientras que, por otro lado, se delimitó el espaciamiento temporal en meses en lugar de días.

La elección como inercia de una media de 4 días, y no de otro número de días, se produjo como resultado de un proceso de iteración con los datos, siendo esa cantidad de días la que mejores resultados ofrecía frente a la ocurrencia real de incendios. Así pues, finalmente se obtuvo un conjunto de siete variables de entrada a la red neuronal (inputs) para cada día estudiado:

Tabla 4: Inputs de la red neuronal

Mes del día estudiado	Velocidad viento media durante el día (m/s)	Velocidad del viento media durante los 4 días anteriores (m/s)	Temperatura media durante el día (°C)	Temperatura media durante los cuatro días anteriores (°C)	Humedad Relativa media durante el día (%)	Humedad Relativa media durante los cuatro días anteriores (%)
-----------------------	---------------------------------------------	----------------------------------------------------------------	---------------------------------------	-----------------------------------------------------------	-------------------------------------------	---------------------------------------------------------------

Fuente: Elaboración propia

Las variables de salida de la red (outputs) para cada día estudiado eran las correspondientes a la probabilidad de ocurrencia o no ocurrencia de incendio durante ese día, las cuales son complementarias:

Tabla 5: Outputs de la red neuronal

Probabilidad de incendio	Probabilidad de no incendio
--------------------------	-----------------------------

Fuente: Elaboración propia

III.1.3.4 Estructura de la red neuronal

La estructura de la red viene delimitada por tres capas:

- Una capa de entrada
- Una capa oculta con nodos radiales (RBF)
- Una capa de salida, ésta última conteniendo un nodo por cada clase, así pues, dos nodos: probabilidad de incendio y probabilidad de no incendio

Los nodos de la capa oculta, al contener una función de base radial (RBF), tienen como parámetros el centro y el ancho. Existiendo un centro para cada función radial involucrada. Así pues, definen un vector de la misma dimensión del vector de entrada, definiendo entre todos los nodos un único centro para la capa oculta.

Por otro lado, el ancho es el término empleado para identificar la amplitud de la campana de gauss originada por cada función radial. Es decir, la desviación estándar de la función radial. La adecuación que tenga la red a la realidad vendrá determinada por la optimización que se haga de estos dos parámetros, en orden de minimizar el error de medida que conlleva este ajuste ([Lowe and Tipping, 1996](#)). Así pues, como la capa oculta (nodos radiales) ha de tener la misma dimensión que el vector de entrada, contiene tantos nodos como patrones de entrenamiento (3.565); correspondientes a cada uno de los días estudiados. Por lo tanto, la estructura de la red será la que se muestra a continuación:

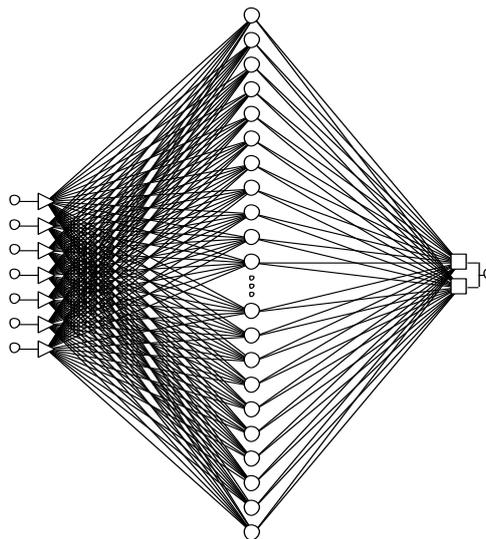


Figura 29: Estructura de la red neuronal

Fuente: Elaboración propia

III.1.3.5 Tratamiento numérico

Una vez escogidos tanto la estructura de la red, como los datos necesarios para su elaboración; es necesario un acondicionamiento numérico para permitir una operatividad más eficaz de la red neuronal, ya que las funciones de activación más populares tienen su rango de salida acotado al intervalo $[-1; 1]$ ó $[0; 1]$, lo cual representa un importante condicionante numérico.

Además, al tratarse de una red neuronal probabilística, la salida de información que dará la red será numérica y acotada al rango entre 0 y 1, siendo éstas las probabilidades asociadas a un evento. Para la realización de la normalización de los datos de entrada se aplica la formulación propuesta por García (2002) para una función de transformación de dos parámetros:

$$z = \left[\frac{x}{M} \right]^\alpha \quad (1)$$

Donde x es el dato a normalizar, M es el máximo de toda la serie de datos y α es un coeficiente para la reducción del sesgo. La razón por la cual se eligió esta formulación exponencial para la transformación de las variables fue un estudio previo (Canales, 2010), donde se comprobó que se trataba de una fórmula conveniente de normalización que atendía por igual todas las variables. Es por ello que esta normalización se aplica a todos los inputs de la red salvo al número de mes, al no ser el input mensual una variable numérica.

Con los datos ya normalizados es posible empezar a trabajar con la red. Los datos se separaron en dos grupos: días en los que se produjo un incendio y días de no incendio, de forma que el conjunto de patrones de entrenamiento conocidos de antemano, pertenezca a una clase concreta. De este modo la red informará de las probabilidades de pertenencia a cada una de estas dos clases posibles.

El entrenamiento de una red probabilística no es un entrenamiento propiamente dicho, puesto que no se utiliza ningún algoritmo de minimización del error. Simplemente es la copia de los valores de los ejemplares de entrenamiento en la configuración de pesos de la red. Para esto es posible la aplicación de dos alternativas:

- La primera, teniendo calculado previamente el centroide de cada clase, de tal manera que para un nuevo patrón presentado a la red, la asignación será a la clase con centroide más próximo.
- La segunda, encontrando el patrón de entrenamiento más cercano, y asignando la misma clase que a éste. Ésta segunda alternativa requiere la introducción de todos los datos disponibles.

En el caso que nos ocupa, es la segunda alternativa la opción empleada, ya que cada nodo de la capa oculta se corresponde con un ejemplar de entrenamiento.

Los pesos de la capa oculta w_{ij} son los valores del ejemplar. El umbral tiene valor:

$$umbral = \frac{1}{2\sigma^2} \quad (2)$$

Siendo σ la desviación típica de la función gaussiana.

Este parámetro σ constituye un factor de suavizado. La función de activación para el nodo es exponencial, y combinada con una función post-sináptica radial, nos da el siguiente nivel de activación de nodo:

$$\frac{1}{2} \cdot EXP \left[-\sum \left(\frac{w_{ij} - x_i}{\sigma} \right)^2 \right] \quad (3)$$

Así pues, la salida del nodo es máxima cuando la distancia al ejemplar de entrenamiento es nula, y tenderá a cero cuando nos alejemos de él.

Se observa que, en esta desviación radial, σ es el parámetro de entrenamiento más determinante a la hora de utilizar las redes PNN; sin embargo, como ya se ha mencionado antes, las PNN no disponen de un algoritmo de entrenamiento específico para minimizar su error. En consecuencia, la obtención de este valor de suavizado se ha obtenido mediante iteración, hasta obtener una salida de resultados cuya probabilidad total de incendios correspondiera con la probabilidad a priori de los mismos. Para que esto ocurriera, el valor de σ se ha ajustado a 0,35 para la red que comprende todos los incendios, y a 0,3 para la que sólo contempla los incendios superiores a una hectárea.

Respecto al umbral y pesos de la capa de salida, existe una unidad output por cada clase. Los pesos w_{ij} tienen valor 1 ó 0, según que el nodo radial pertenezca o no a esa clase. Es decir,

sólo existen conexiones efectivas entre los nodos de patrones pertenecientes a la clase, y el nodo de salida asociado a esa clase.

Para el caso que nos ocupa, el nodo de salida asociado a incendio sólo está conectado con los nodos ocultos correspondientes a incendios; mientras que el nodo de salida asociado a no incendio está conectado con el resto de nodos ocultos.

El umbral es en todos los casos nulo, siendo la función PSP empleada para estos nodos lineal. En consecuencia, la operación que se realiza es sencillamente la suma de las respuestas o niveles de activación de todas las unidades pertenecientes a su clase. Esta configuración es válida, ya que las frecuencias de clase en el conjunto de ejemplares de entrenamiento es una buena representación de las probabilidades esperadas a priori.

Finalmente, la función de activación empleada en los nodos de salida es una función de normalización que convierte los resultados arrojados en complementarios, esto es, que ambos sumen la unidad. Esta función opera sobre el vector completo de outputs.

III.1.3.6 Clasificación de los niveles de riesgo a partir de los resultados de la red

Una vez desarrollada la red, se pudo determinar la desviación típica que tenía el conjunto de resultados obtenidos con todos los valores de entrenamiento de la misma. Esta desviación se utilizó para la asignación de los Niveles de Riesgo asociados a cada probabilidad de incendio, siendo la clasificación de dichos niveles la que se detalla a continuación:

Tabla 6: Clasificación de los niveles de riesgo en función de la desviación típica de los resultados de la red neuronal

Nivel	Intervalo
Bajo	$[0, \delta [$
Moderado	$[\delta; \chi[$
Alto	$[\chi; \chi + \delta[$
Extremo	$[\chi + \delta; 1]$

Fuente: Elaboración propia

Siendo:

- δ : Desviación típica de los resultados de entrenamiento
- χ : Media de los resultados de entrenamiento

III.1.4 Sistema de detección de incendios mediante cámaras infrarrojas

III.1.4.1. Descripción del sistema

La Devesa dispone de un sistema automático de detección de incendios cuyo objetivo es identificar y localizar incendios en sus primeros instantes las 24 horas del día y todos los días del año. Este sistema, llamado comúnmente DISTER (Detección de Incendios mediante Sensores Térmicos), fue desarrollado por la Universidad Politécnica de Valencia en colaboración con el Servicio de Bomberos del Ayuntamiento de Valencia, y fue puesto en marcha en el año 2002.

Desde ese momento estuvo funcionando hasta el 2005, año en el que se hizo un proyecto de reforma del sistema para introducir nuevas mejoras y paliar los desperfectos sufridos por los equipos durante el periodo; una vez realizado el mismo, volvió a ser puesto en funcionamiento hasta que en 2007 el sistema dejó de ser gestionado por la Universidad y pasó a llevarlo la empresa *Ngaro*, la cual ha sido responsable del mismo hasta 2010.

El periodo del que se disponen datos para el caso de estudio, que comprende el presente capítulo, corresponde al que el sistema fue llevado por *Ngaro*, que discurre entre Noviembre del 2007 y Enero del 2010.

En el periodo que comprendió el caso de estudio, el sistema consistía en una red de tres puestos de observación, poseyendo cada uno de los cuales como mínimo una cámara térmica con su correspondiente unidad de adquisición, procesador, sistema de transmisión RDSI, comunicaciones de seguridad mediante GSM y un sistema de apoyo a las intervenciones de video en tiempo real.

Las funciones de los puestos de observación son:

- La adquisición y procesado de las imágenes termográficas. Por lo que es la parte fundamental del sistema, se encarga de captar las imágenes, procesarlas y detectar los posibles puntos de incendio.
- Intercambio de información con los elementos de control de los motores, ajustes en las cámaras térmicas y el interfaz con los módulos de comunicaciones.
- La transmisión de alarmas, sincronización y comandos de control.
- Enlazar con imágenes de vídeo de cada uno de los puestos remotos, así como telecontrolar las cámaras remotas desde el puesto de mando de la central.

Así pues, con estos tres puestos de vigilancia el sistema opera con un total de 4 cámaras de visión térmica y 3 cámaras de vídeo que cubren la práctica totalidad de las zonas del marjal y la Devesa; tomando imágenes mediante las cámaras térmicas de forma continua que son procesadas punto a punto para localizar incrementos de temperaturas sobre el terreno. Una vez detectado un punto caliente, el algoritmo del sistema computa si se trata de una alarma real; en tal caso se le asigna un tipo de alarma en función del incremento de temperatura detectado (Crecimiento, Permanencia o Incendio) y se dan sus coordenadas.

La clasificación de las alarmas se realiza en función del siguiente criterio:

- Crecimiento: Detección de fuentes de calor persistentes en el tiempo.
- Permanencia: Detección de fuentes de calor que aumentan su temperatura con el tiempo y pueden suponer un principio de incendio.
- Incendio: Detección de fuentes de calor que superan un umbral de temperatura y presentan las características propias de un incendio

La distribución de las cámaras se realizó atendiendo a las zonas de mayor altura disponibles que pudieran cubrir toda la superficie de la Devesa, así pues, se localizaron en las azoteas de los edificios situados en la Avenida del Pujol números 4, 10 y 26. En el edificio nº 4 se dispusieron dos cámaras térmicas, una fija mirando hacia el norte y otra móvil; poniéndose solamente una cámara de vídeo. Mientras que en los otros dos edificios las cámaras termográficas que se dispusieron fueron móviles, asignándole una cámara de vídeo a cada una.



Figura 30: Cámaras térmicas fija y móvil ubicadas en el edificio Gola nº 4, junto a panorámica de la zona vigilada

Fuente: Servicio de Bomberos Ayuntamiento de Valencia



Figura 31: Cámara térmicas móvil y cámara de vídeo ubicadas en el edificio Gola nº 26

Fuente: Elaboración propia



Figura 32: Panorámica de la zona vigilada desde la Gola 26

Fuente: Elaboración propia



Figura 33: Cámara térmica móvil y de vídeo del Edificio Gola 10

Fuente: Elaboración propia



Figura 34: Panorámica de la zona vigilada desde Gola 10

Fuente: Elaboración propia

Las cámaras móviles se proyectaron para poder barrer toda la superficie de la Devesa, mientras que la fija se centró en la zona norte, que a priori era la que más riesgo tenía de incendio. Sin embargo, el barrido que hacen las cámaras móviles hace que durante un tiempo se queden sin vigilancia ciertas zonas, siendo en el peor de los casos prácticamente 10 minutos el tiempo que transcurre sin vigilar una zona desde un barrido hasta el siguiente. La distribución y visión final de los puestos de observación se muestra a continuación:



Figura 35: Plano ubicación de las cámaras (de arriba abajo G4, G10, G26)

Fuente: Elaboración propia

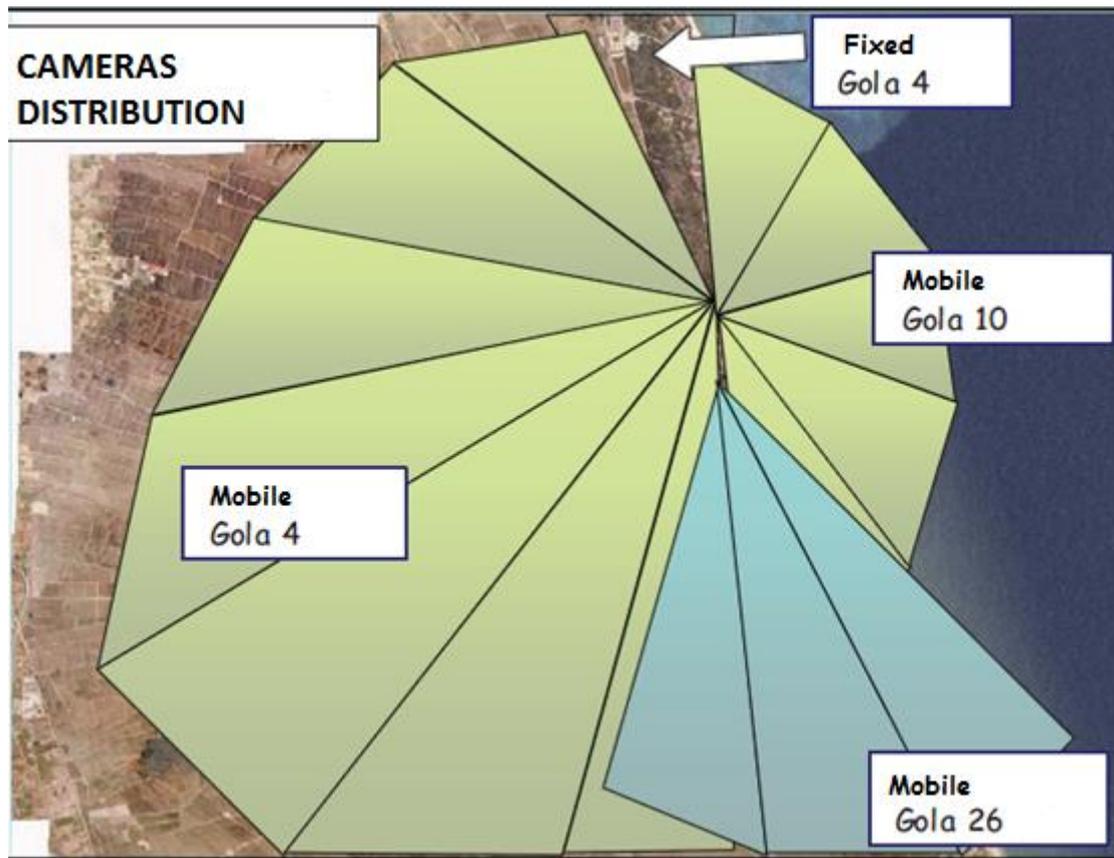


Figura 36: Visión de las cámaras del Sistema DISTER

Fuente: Servicio Bomberos Ayuntamiento de Valencia

La información de las alarmas es transmitida al Centro de Comunicaciones (CECOM) tanto del Parque del Saler como del Parque Central de Bomberos del Ayuntamiento de Valencia, donde están instalados los controladores del sistema de infrarrojos y del sistema de vídeo, el control de las comunicaciones y el sistema de información. Además, se cuenta con equipos de comunicaciones RDSI y GSM que enlazan con cada uno de los puestos de observación, y de pantallas separadas para la monitorización del sistema de gestión y de las cámaras térmicas y visibles

Así pues, desde las pantallas de los ordenadores del Centro de Comunicaciones se puede realizar el seguimiento del incendio, bien por las cámaras térmicas o bien por las cámaras ópticas de vídeo. Simultáneamente a la comunicación de la alarma, el sistema envía a los responsables del servicio de bomberos un aviso (mensaje de texto vía GSM) con la información recibida.



Figura 37: Unidades de gestión y monitorización de alarmas situada en el Centro de Comunicaciones del Parque Central de Bomberos

Fuente: Servicio Bomberos Ayuntamiento de Valencia



Figura 38: Imágenes termográficas tomadas por el sistema. A izquierdas una Alarma No Real. A derechas una de las imágenes del incendio de marzo de 2008

Fuente: Servicio Bomberos Ayuntamiento de Valencia

Con todo, el sistema podría ser esquematizado según se indica a continuación

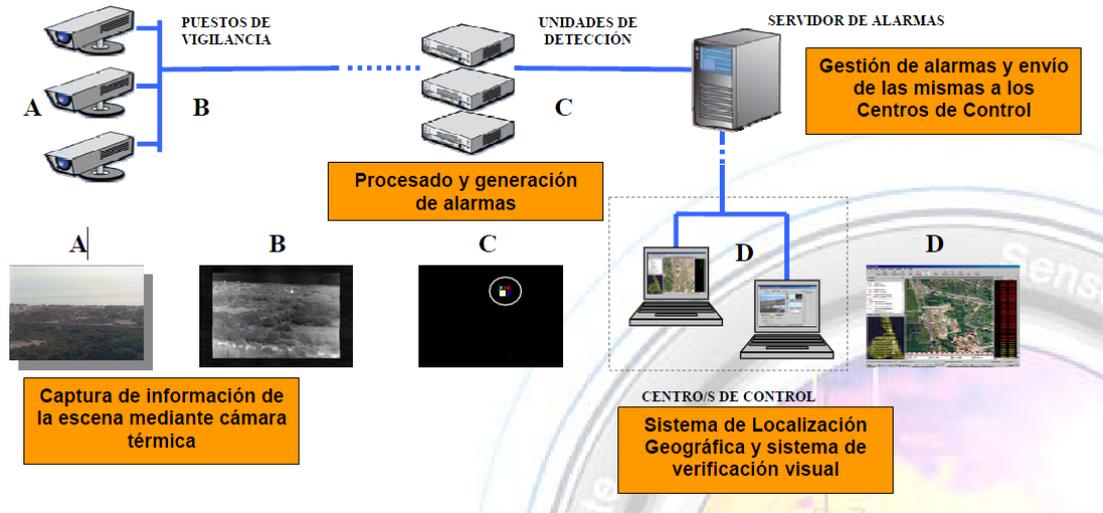


Figura 39: Esquema del Sistema de detección de Incendios

Fuente: Servicio Bomberos Ayuntamiento de Valencia

Respecto a las especificaciones técnicas de las cámaras infrarrojas utilizadas, las principales características se detallan a continuación:

- FLIR A320 (30 Hz) Tempscreen
 - Datos ópticos y de toma de imágenes:
 - Campo de visión (FOV) $25^{\circ} \times 18.8^{\circ}$
 - Distancia mínima focal 0.4 m (1.31 ft.)
 - Longitud focal 18 mm (0.7 in.)
 - Resolución espacial (IFOV) 1,36 mrad
 - Sensibilidad térmica/NETD $< 0.05^{\circ}\text{C} @ +30^{\circ}\text{C} (+86^{\circ}\text{F}) / 50 \text{ mK}$
 - Datos del detector
 - Matriz de plano focal, Rango espectral $7,5\text{--}13 \mu\text{m}$
 - Resolución infrarroja 320×240 pixels
 - Detector de tono $25 \mu\text{m}$
 - Constante típica de detección 12 ms

III.1.3.2 Método de análisis del sistema

Para analizar el sistema anteriormente explicado, se procedió a recopilar todas las alarmas almacenadas por el sistema, las cuales se correspondieron con el periodo: Noviembre 2007- Enero 2010, y que ascendieron a un total de 11.328 alarmas, de las cuales 10.519 se correspondieron con alarmas no reales.

Una vez recopiladas, se organizaron en función de si eran reales o no reales, y posteriormente se agruparon por días y se dividieron en sucesos (término que se definirá más adelante). Una vez hecho esto, por un lado se procedió a analizar la distribución geográfica de las alarmas, la distribución horaria de las mismas y su distribución en función de la cámara que las detectara.

Por otro lado, se procedió a analizar la influencia de los factores meteorológicos en la eficiencia del sistema, para ello se utilizaron datos meteorológicos obtenidos de la red de estaciones agroclimáticas del SIAR (Sistema de Información Agroclimática para el Regadío) que tiene el Ministerio de Medio Ambiente, Rural y Marino distribuida a en toda España. Concretamente fueron utilizados los datos procedentes de la estación situada en el término municipal de Picassent, para el periodo Noviembre 2007-Enero 2010; siendo las variables meteorológicas utilizadas para el análisis las siguientes:

- Temperatura Media
- Humedad Relativa Media
- Velocidad Viento Media
- Velocidad de Viento Máxima
- Radiación
- Precipitación
- EtP Mon (evapotranspiración de referencia (ET_o) por Penman- Monteith)

Y con los datos recopilados, se procedió a evaluar la correlación de los datos meteorológicos con las alarmas del sistema. Para dicha evaluación se procedió a la normalización de los datos mediante la fórmula **(1)**, expuesta anteriormente, propuesta por García ([2002](#)). Una vez los datos estuvieron normalizados se procedió al análisis de la correlación de los mismos hallando su coeficiente de Pearson; el cual mide la relación lineal entre dos variables, y es independiente de la escala de medida de las variables.

El coeficiente de Pearson entre dos variables aleatorias X e Y se define como el cociente:

$$r = \frac{\sigma_{XY}}{\sigma_X \cdot \sigma_Y} \quad (4)$$

Donde σ_{XY} es la covarianza de (X,Y), mientras que σ_X y σ_Y son las desviaciones típicas de las distribuciones marginales.

El resultado de este coeficiente indica el grado de correlación entre las variables, y al estar circunscrito al intervalo [-1, +1] el significado de esa correlación será:

- Si $r = 1$, existe una correlación positiva perfecta. El índice indica una dependencia total entre las dos variables denominada relación directa: cuando una de ellas aumenta, la otra también lo hace en proporción constante.
- Si $0 < r < 1$, existe una correlación positiva.
- Si $r = 0$, no existe relación lineal. Pero esto no necesariamente implica que las variables son independientes: pueden existir todavía relaciones no lineales entre las dos variables.
- Si $-1 < r < 0$, existe una correlación negativa.
- Si $r = -1$, existe una correlación negativa perfecta. El índice indica una dependencia total entre las dos variables llamada relación inversa: cuando una de ellas aumenta, la otra disminuye en proporción constante.

III.2. Resultados del caso de estudio

Dada la variedad de los factores analizados en la presente Tesis, se procederá a presentar por separado los resultados obtenidos de cada uno de ellos.

III.2.1 Incendios forestales

III.2.1.1 Número, superficie quemada y causa de los incendios

Durante el período que abarca el análisis de incendios efectuado en el caso de estudio (Enero 1998-Enero 2010) se han producido un total de 108 incendios en la zona. Sin embargo, sólo se disponen de datos acerca de la superficie quemada de 98 de ellos. De éstos, 12 superaron la superficie de una hectárea y, por tanto, pueden ser catalogados como incendios forestales.

La distribución temporal de los mismos es la que se ofrece a continuación:

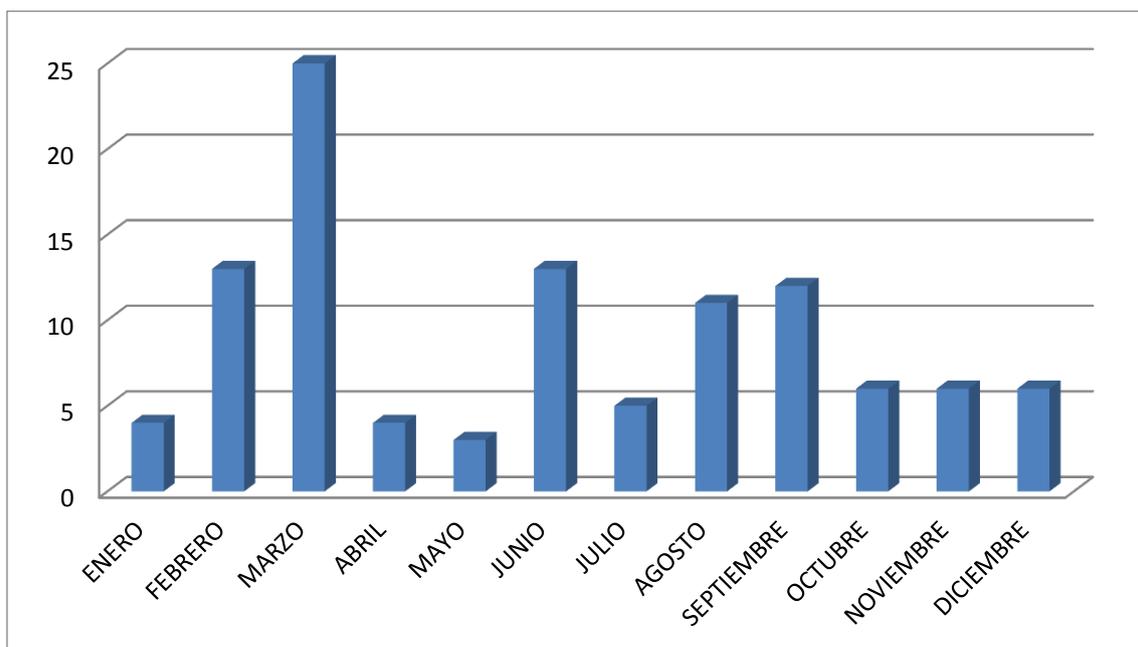


Figura 40: Distribución mensual de incendios

Fuente: Elaboración propia

Destaca, en principio, el elevado número de incendios ocurrido fuera de la época estival, especialmente durante los meses de Febrero y Marzo, este hecho se analizará con detalle más adelante.

Si se clasifican los incendios según la superficie final quemada, obtenemos los siguientes resultados:

Tabla 7: Número de incendios según superficie quemada (m²)

S<100	100<S<500	500<S<1000	1000<S<5000	5000<S<10000	S>10000	Sup. Desc.
42	22	6	8	0	12	9

Fuente: Elaboración propia

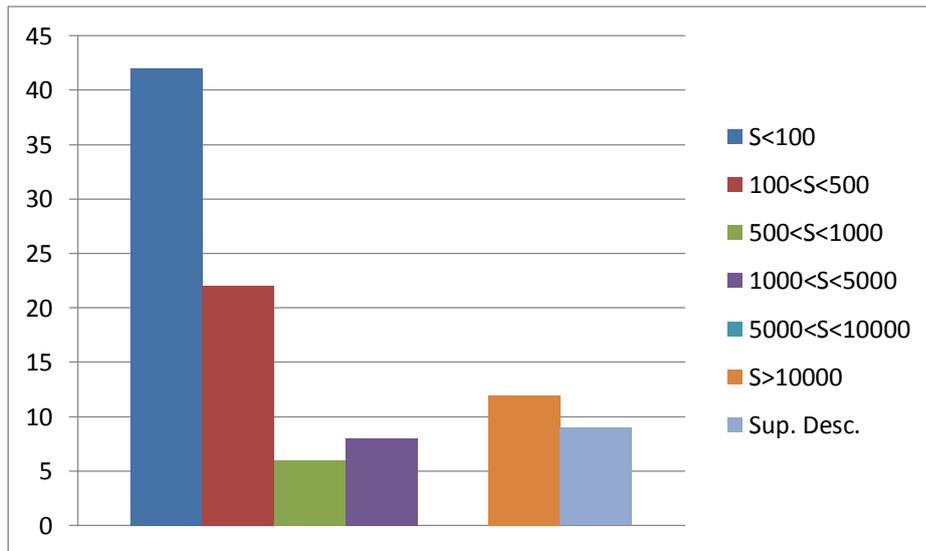


Figura 41: Número de incendios según superficie quemada (m²)

Fuente: Elaboración propia

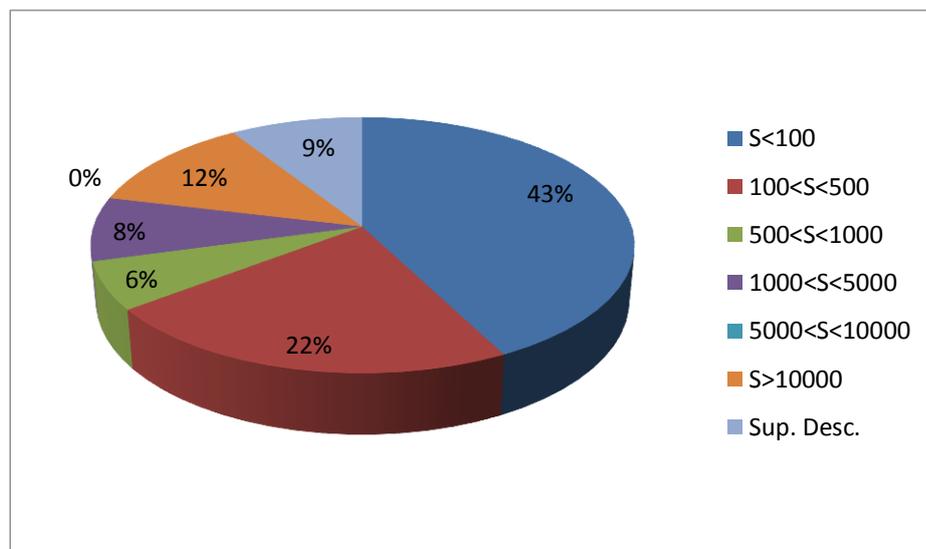


Figura 42: Porcentaje de incendios según superficie quemada (m²)

Fuente: Elaboración propia

De los gráficos anteriores se aprecia que, gracias a la intensiva vigilancia que tiene la zona, el 65% de los incendios no superan los 500 m² de superficie quemada. Sin embargo, y pese a esta vigilancia, un 12% de los incendios supera la hectárea quemada.

Destaca también el elevado número de incendios. Esto es debido a las características de parque periurbano que tiene la Devesa del Saler. Su elevado uso como parque recreativo, por parte de un elevado número de personas, hace que aumenten las probabilidades de incendio en comparación con una zona forestal que no tenga tanta explotación. Este hecho se aprecia claramente si nos centramos en las causas de los incendios ocurridos. Para este análisis, se han dividido estas causas en 7 categorías diferentes:

- *Accidente Eléctrico*: Aquel fuego causado por accidentes de sistemas eléctricos
- *Controlado*: Aquel fuego realizado con permiso de quema
- *Desconocido*: Aquel fuego del que se desconocen las causas del origen
- *Imprudencia*: Aquel fuego causado por humanos de forma no intencionada
- *Intencionado*: Aquel fuego causado por humanos de forma intencionada
- *Rayo*: Aquel fuego causado por un rayo, y que se inicia cuando cae el rayo
- *Rayo dormido*: Aquel fuego causado por un rayo, y que se inicia pasado un tiempo desde la caída del rayo

Se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 8: Número de incendios según su origen

Accidente Eléct.	Controlado	Imprudencia	Intencionado	Rayo	Rayo dormido	Desconocido
2	1	20	36	2	1	46

Fuente: Elaboración propia

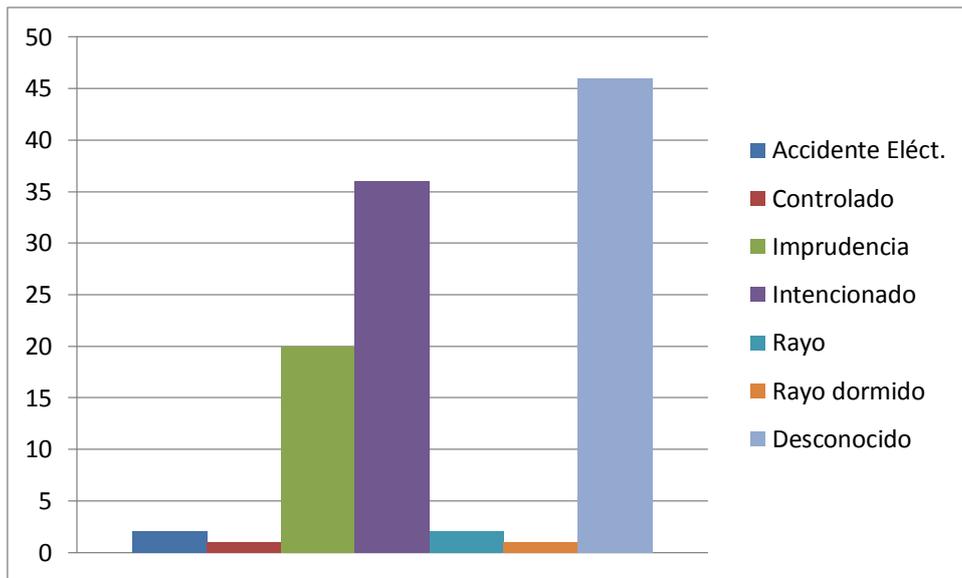


Figura 43: Número de incendios según su origen

Fuente: Elaboración propia

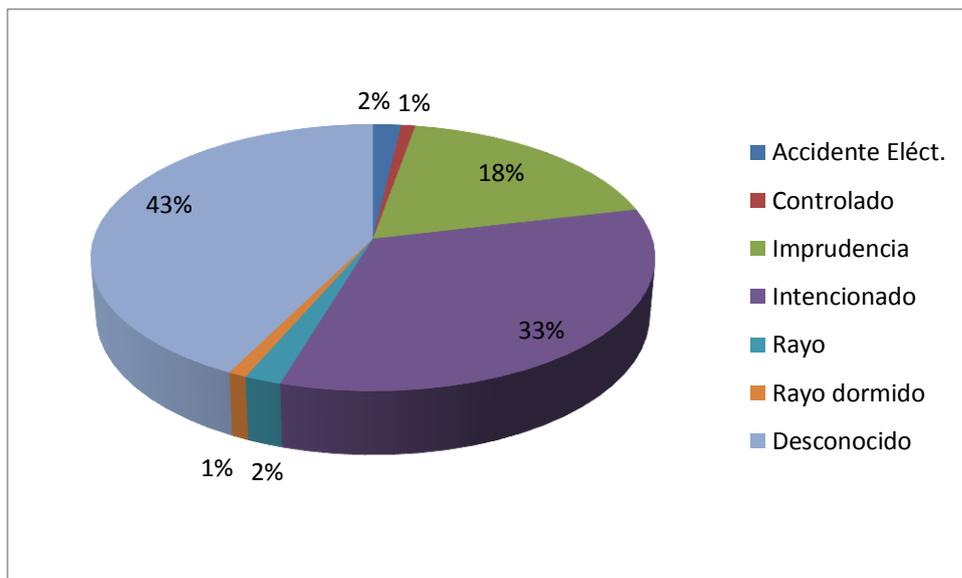


Figura 44: Porcentaje de incendios según su origen

Fuente: Elaboración propia

Se observa que un 43% de las veces no se dispone de suficiente información como para averiguar el origen del incendio. Sin embargo, si nos centramos en el porcentaje de incendios de los que sí que disponemos de información sobre su origen, obtenemos el siguiente resultado:

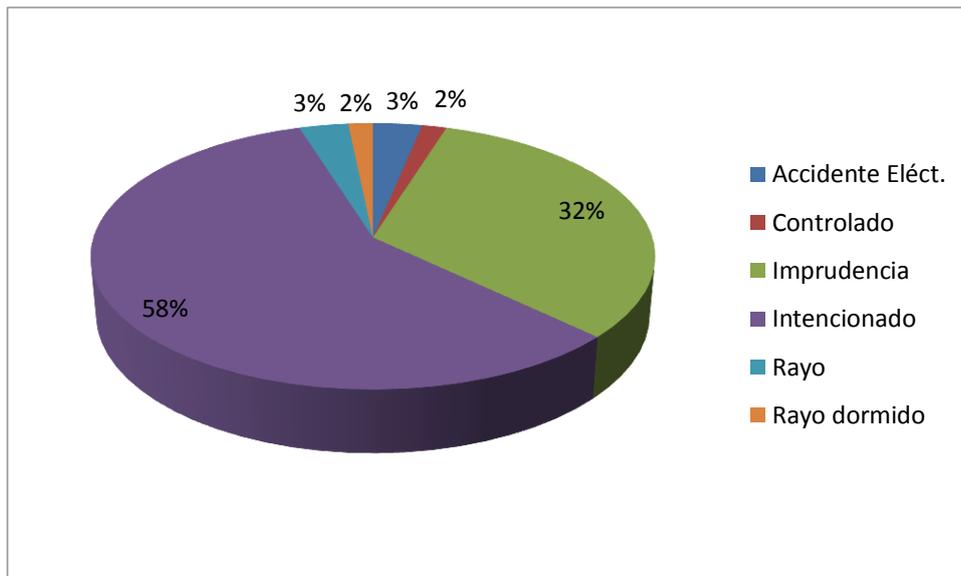


Figura 45: Porcentaje de incendios según su origen (sin desconocidos)

Fuente: Elaboración propia

Se aprecia que más de la mitad de estos incendios son intencionados, mientras que más del 30% son producidos por imprudencias. Así pues, el 90% de los incendios de origen conocido de la Devesa del Saler tiene un origen antrópico, bien sea de forma intencionada o inintencionada. Dejando apenas un 10% de los incendios a causas naturales o accidentales.

Esto explica el elevado número de conatos y de incendios que se da en la Devesa, y justifica la vigilancia intensiva que se produce en la misma a fin de disminuir los incendios. Finalmente, si sólo nos centramos en las causas que originan los incendios que superan la hectárea de superficie quemada, obtenemos los siguientes resultados:

Tabla 9: Número de Incendio que superan 1 ha según su Origen

Imprudencia	1
Desconocido	6
Intencionado	5

Fuente: Elaboración propia

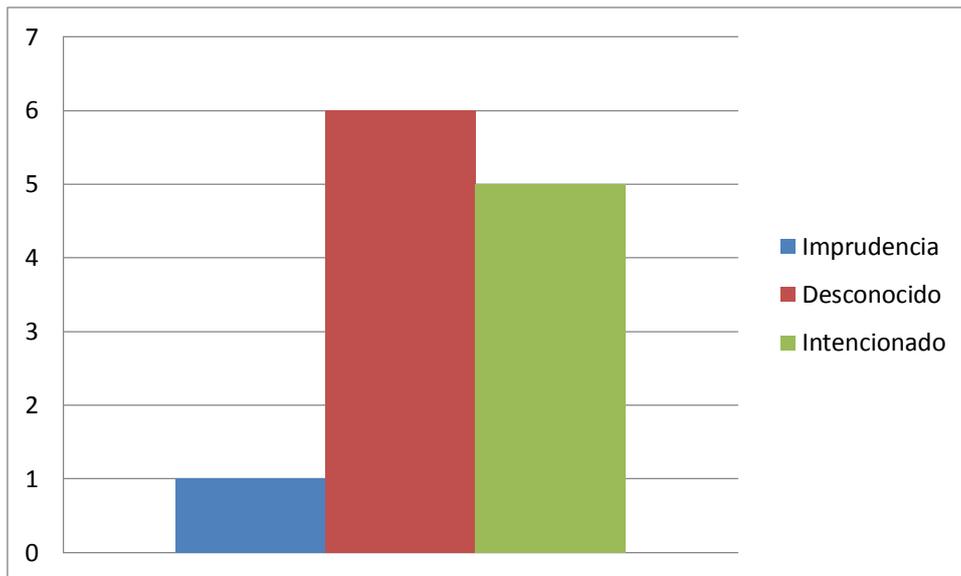


Figura 46: Número de incendio que superan 1 ha según su origen

Fuente: Elaboración propia

Resultando que la mitad de estos incendios tienen causas desconocidas. Mientras que el resto son únicamente de origen antrópico, especialmente de origen intencionado.

Si nos centramos en la distribución temporal que tienen estos incendios forestales, superiores a 1 ha de superficie quemada, observamos la siguiente distribución:

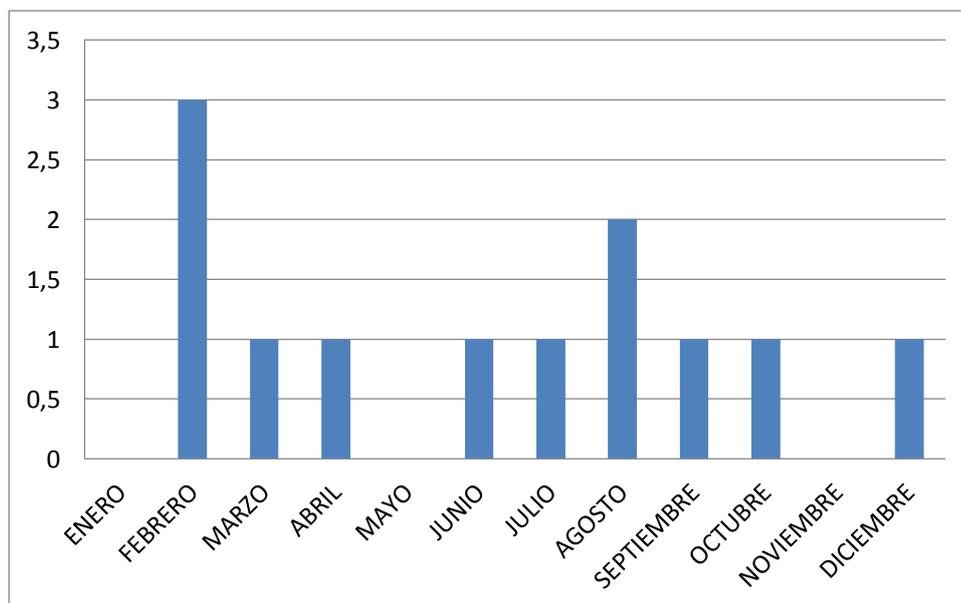


Figura 47: Distribución temporal de incendios que superan 1 ha

Fuente: Elaboración propia

A la vista de todo lo anterior, cabría plantearse la mejora del sistema de investigación de los orígenes de los incendios, a fin no sólo de aumentar los datos disponibles para futuras investigaciones, sino especialmente para poder perseguir a los creadores de estos incendios. Por otro lado, se hace recomendable la mayor concienciación de la población que visita la zona, ya que hay un elevado número de incendios (18%) que se originan por imprudencias.

Por último, se observa que pese a la existencia de incendios forestales en la época estival, la distribución de los mismos se da a lo largo de todo el año, por lo que los incendios en la Devesa no obedecen únicamente a variables meteorológicas, que son las que a priori dominan los incendios forestales. Es por ello que se ha realizado un análisis más detallado del riesgo de incendio en la zona a través de una red neuronal artificial probabilística.

III.2.1.2 Análisis de todos los incendios mediante red neuronal

III.2.1.2.1 Análisis de la distribución mensual de la probabilidad de incendios

Una vez desarrollada la red neuronal probabilística, se procedió a analizar la bondad de los resultados comparando la probabilidad de incendios que arrojaba la red frente a la ocurrencia real de los mismos en el periodo de estudio de la misma (1998-2008). Los datos meteorológicos utilizados ascendieron a más de 5.256.000, de los cuales se hizo una media diaria para poderlo introducir en la red junto con los 108 incendios que se dieron durante el periodo analizado. Debido a este elevado número de datos introducidos y obtenidos en la red, se consideró como mejor forma de evaluar el funcionamiento de la misma el aglutinamiento de los resultados que daba la red para cada uno de los meses de estudio.

Así pues, se compararon las probabilidades medias que la red había obtenido para cada mes del año, a lo largo de la serie estudiada, frente a la ocurrencia real de incendios y conatos de incendios acumulada en cada mes. El resultado obtenido se muestra a continuación:

Tabla 10: Distribución temporal de la probabilidad de incendio dada por la PNN y de número de incendios reales

Mes	Probabilidad de Incendio Media Mensual	nº de incendios por mes
enero	0,0094	3
febrero	0,0384	12
marzo	0,0445	15
abril	0,0127	4
mayo	0,0092	3
junio	0,0240	8
julio	0,0153	5
agosto	0,0325	11
septiembre	0,0275	9
octubre	0,0161	5
noviembre	0,0171	5
diciembre	0,0169	5

Fuente: Elaboración propia

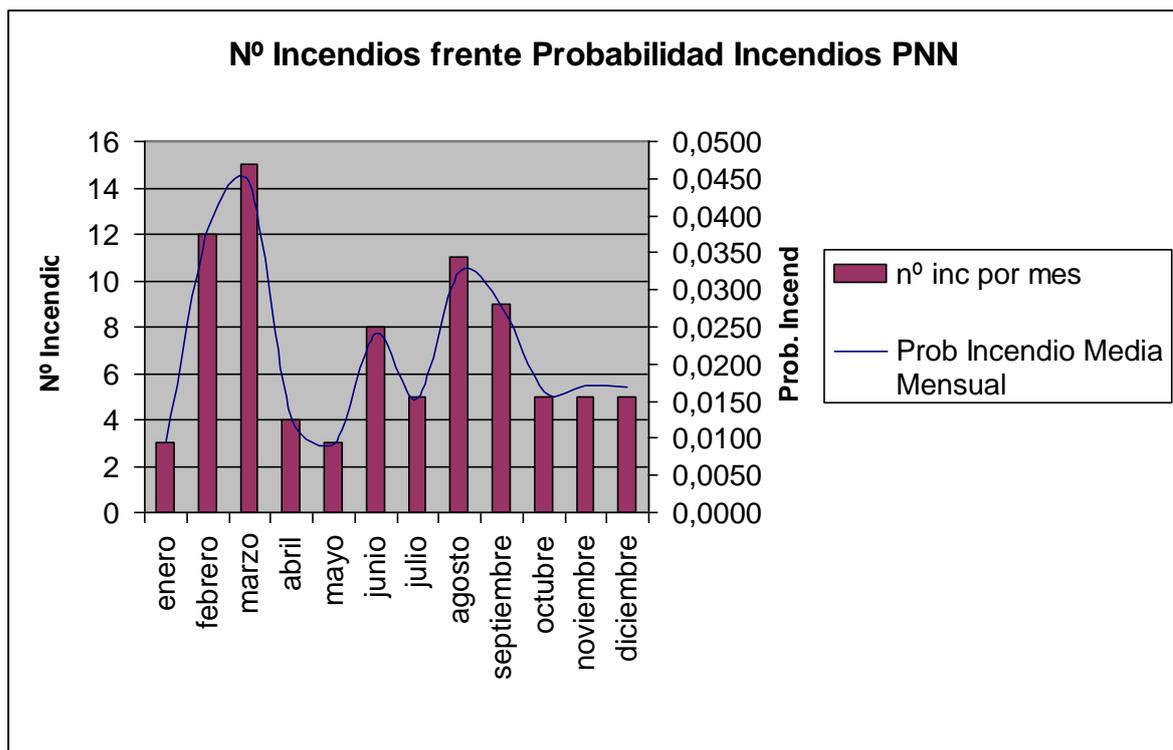


Figura 48: Distribución temporal de la probabilidad de incendio dada por la PNN y de número de incendios reales

Fuente: Elaboración propia

Se puede apreciar que la probabilidad arrojada por la Red Neuronal se corresponde con la ocurrencia real de incendios en la Devesa. Lo cual indica que la red ha sabido interpretar los datos introducidos, para arrojar resultados acordes con la realidad. Por otro lado, se aprecia que la mayor probabilidad de incendios se concentra durante los meses de febrero y marzo, que son los mismos que aglutinan el mayor número de incendios durante la época estudiada.

De hecho, si planteamos el análisis de la distribución de los Niveles de Riesgo anteriormente descritos en los que se definía el tipo de Nivel de Riesgo según la siguiente tabla:

Tabla 11: Clasificación de los niveles de riesgo según la desviación típica de los resultados de la PNN

Nivel	Intervalo
Bajo	$[0, \delta [$
Moderado	$[\delta; \chi[$
Alto	$[\chi; \chi+\delta[$
Extremo	$[\chi+\delta; 1]$

Fuente: Elaboración propia

Siendo:

- δ : Desviación típica de los resultados de entrenamiento
- χ : Media de los resultados de entrenamiento

Se obtienen los siguientes resultados:

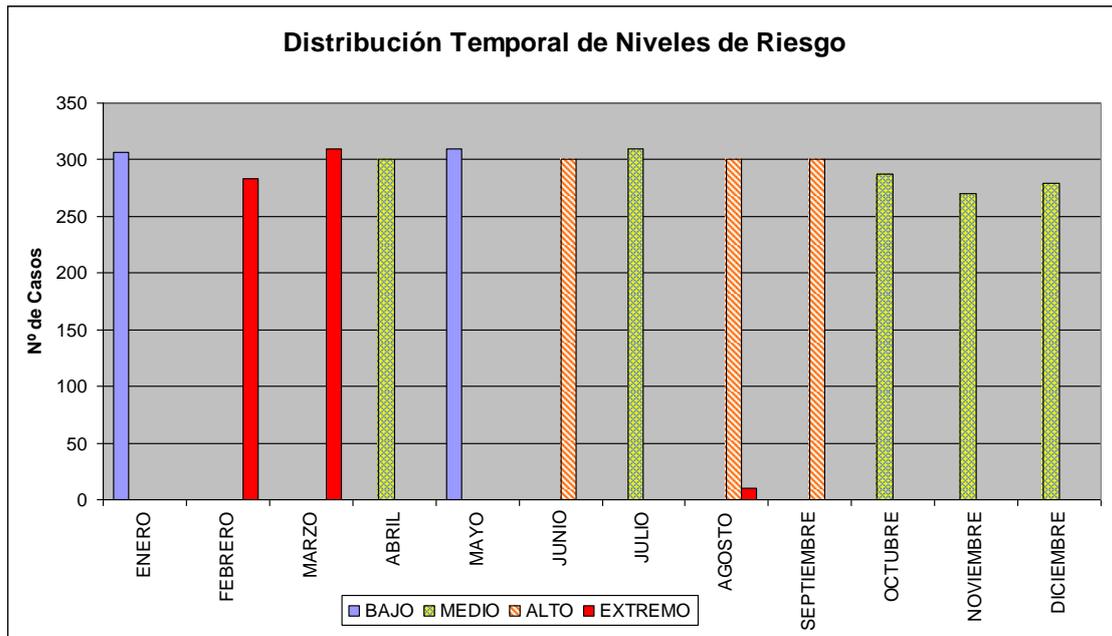


Figura 49: Distribución temporal de los Niveles de Riesgo

Fuente: Elaboración propia

Se aprecia de nuevo la fuerte incidencia de los meses de Febrero y Marzo, los cuales aglutinan prácticamente todos los casos de riesgo alto, a excepción de unos pocos casos que también tiene el mes de agosto.

Analizando uno a uno cada Nivel de Riesgo:

- Nivel de Riesgo Bajo:* Se concentra en los meses de enero y mayo, debido a las características frías (enero) y lluviosas (mayo) que tienen estos meses. Así como por la ausencia de fiestas vacacionales en dichos meses.
- Nivel de Riesgo Moderado:* Se distribuye en los meses de octubre a diciembre, así como en los meses de abril y julio. El mes de abril se caracteriza por el uso que de la Devesa se hace en las fiestas de Semana Santa, por lo que la mayor afluencia de gente en ese mes puede explicar el aumento del nivel de riesgo frente a Mayo. Por otro lado, el mes de julio es en el que se inicia las labores extraordinarias de patrulla en la zona, que tienen efecto disuasorio, lo cual puede justificar que este mes tenga nivel de riesgo moderado, frente a junio que lo tiene alto.
- Nivel de Riesgo Alto:* Se da en los meses de agosto, septiembre y junio; este último puede explicarse debido al inicio de la temporada veraniega, unido a la ausencia de labores de patrullas extraordinarias en dicho mes. Por otro lado, los niveles de agosto

y septiembre, son característicos de meses de verano, en los que las temperaturas son elevadas y ya existe una inercia térmica importante acumulada en los meses previos.

- *Nivel de Riesgo Extremo*: Frente a lo que en un principio se pudiera intuir, estos niveles se concentran en los meses de febrero y marzo. Esto puede explicarse debido a la especial incidencia que tiene en la zona la fiesta de las *Fallas*, lo cual eleva el riesgo de incendio debido al aumento de presencia de gente en la zona, y al uso de material pirotécnico de forma recreativa que caracteriza estas fiestas.

Así pues, se pone de manifiesto la diferencia que existe entre el nivel de riesgo de las zonas forestales y el de las zonas periurbanas. Estas últimas, debido a la mayor explotación antrópica, no sólo dependen de las condiciones meteorológicas ambientales para caracterizar sus niveles de riesgo, sino que deben tenerse muy en cuenta las características locales de las urbes que las rodean, para poder obtener un nivel de riesgo real de las mismas.

De hecho, a fin de conocer con exactitud en qué medida influyen las condiciones meteorológicas en la probabilidad de riesgo de incendio en la Devesa del Saler, se procedió al análisis de la correlación de cada una de ellas con la probabilidad de incendio arrojada por la Red Neuronal.

III.2.1.2.2 Análisis de la influencia de las variables en la probabilidad de incendio

Como se ha comentado en el apartado anterior; existe una fuerte vinculación entre la probabilidad de incendio y el mes del año debido a la variación de las condiciones sociales que tiene la zona urbana que rodea a la Devesa en función de la época del año. Sin embargo, también debe plantearse la influencia real que tiene cada una de las variables meteorológicas estudiadas, a fin de conocer en mayor profundidad cuáles son las que más incidencia tienen en la probabilidad de ocurrencia de incendios.

Así pues, a continuación se muestra una tabla en donde se compara la probabilidad de incendio con cada una de las variables meteorológicas introducidas en la red.

Tabla 12: Correlaciones entre probabilidad de incendio dada por la red e inputs introducidos

		Velocidad del viento media	Velocidad del viento media 4 días anteriores	Temp. del aire	Temp. del aire media 4 días anteriores	Humedad Relativa	Humedad rel. media 4 días anteriores
Prob. Inc.	Correlación de Pearson	-0,153	-0,091	0,013	0,101	-0,090	-0,133
	Sig. (bilateral)	0,000	0,000	0,427	0,000	0,000	0,000
	Covarianza	-0,003	-0,001	0,001	0,007	-0,027	-0,046
	N	3565	3565	3565	3565	3565	3565

Fuente: Elaboración propia

De la tabla anterior se extrae que en la ocurrencia de incendios en la Devesa, ninguna de las variables meteorológicas por sí sola tiene influencia, ya que ninguna tiene una correlación significativa. Así pues, se deduce que el peso real de ocurrencia de incendio en la red se le está dando al input mensual ya que, tal y como se ha observado anteriormente, hay una gran concentración de incendios en los meses de Febrero y Marzo, al contrario de lo que a priori cabría suponer.

Al no ser el input “Mes” una variable numérica que se pueda correlacionar, la influencia de esta variable se observa si vemos la distribución de probabilidades mensuales arrojada por la red:

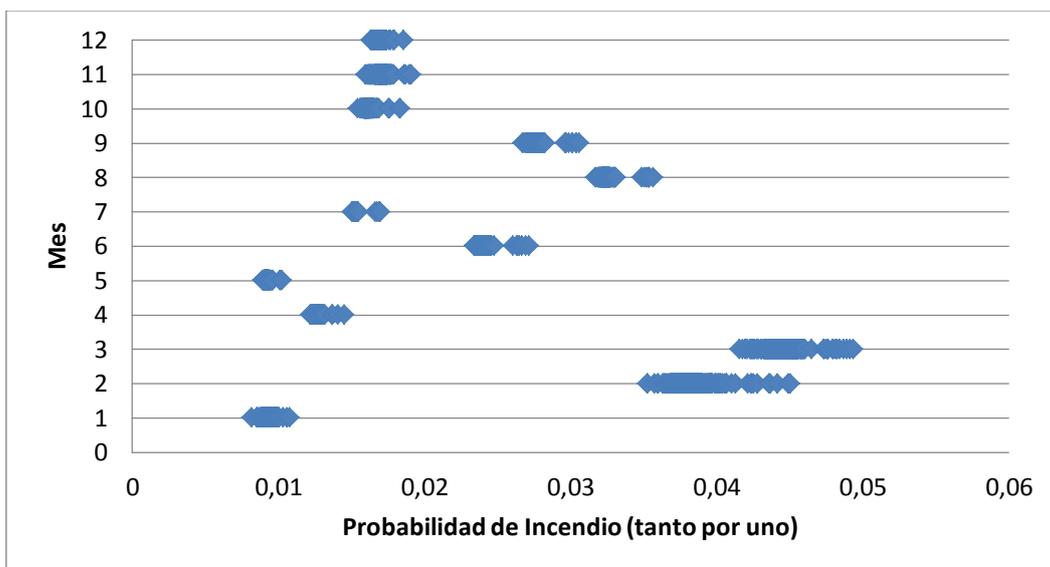


Figura 50: Intervalos de probabilidad de incendio según mes del año

Fuente: Elaboración propia

Vuelve a apreciarse de forma evidente la concentración de altas probabilidades de incendio en los meses de marzo, febrero y agosto. Lo cual se corresponde con el rango de nivel de riesgo que anteriormente habíamos obtenido.

Así pues, del análisis individual de las variables introducidas en la red, podemos deducir que las variables meteorológicas por sí solas no tienen un peso fuerte sobre la probabilidad de incendios en la Devesa; si bien, es más fuerte el peso que tienen las variables referidas a la inercia de los cuatro días anteriores al de medida, que las variables referidas al día de medida en sí; aunque sin un peso estadísticamente significativo.

Por otro lado, vuelve a ponerse de manifiesto la importancia que tiene el factor social en la probabilidad de incendio frente a las variables meteorológicas; ya que los mayores niveles de incendio en la zona se dan en los meses de Febrero y Marzo, que son precisamente los meses en los que se da la mayor festividad en la zona: las Fallas. Fiesta caracterizada por el uso recreativo de fuegos artificiales, lo cual explica el elevado número de conatos e incendios forestales en esos meses. Por lo que, de nuevo, se vuelve a diferenciar el comportamiento de este tipo de parques forestales periurbanos, con características de zonas de interfaz urbano-forestal, de aquellos parques forestales estrictos, en los cuales los niveles de riesgo de incendio sí que son gobernados principalmente por factores meteorológicos, y no sociales como este caso.

III.2.1.3 Análisis los incendios de más de 1 ha mediante red neuronal

III.2.1.3.1 Análisis de la distribución mensual de la probabilidad de incendios

Al igual que en el apartado anterior, una vez desarrollada la Red Neuronal Probabilística para los incendios de más de una hectárea, se procedió a analizar la bondad de los resultados comparando la probabilidad que la red arrojaba frente a la ocurrencia real de incendios.

Análogamente, se consideró como forma más óptima de evaluación el aglutinamiento mensual de los resultados, siendo el resultado obtenido el que se muestra continuación:

Tabla 13: Distribución temporal de la probabilidad de incendio de más de 1 ha dada por la PNN y de número de incendios reales

Mes	Probabilidad de Incendio de más de 1 ha media mensual	Incendios por mes
Enero	0,00107474	0
Febrero	0,00128382	3
Marzo	0,00149175	1
Abril	0,00161272	1
Mayo	0,00173688	0
Junio	0,00171109	1
Julio	0,00184578	1
Agosto	0,00175607	2
Septiembre	0,00171268	1
Octubre	0,0016525	1
Noviembre	0,00155305	0
Diciembre	0,00147002	1

Fuente: Elaboración propia

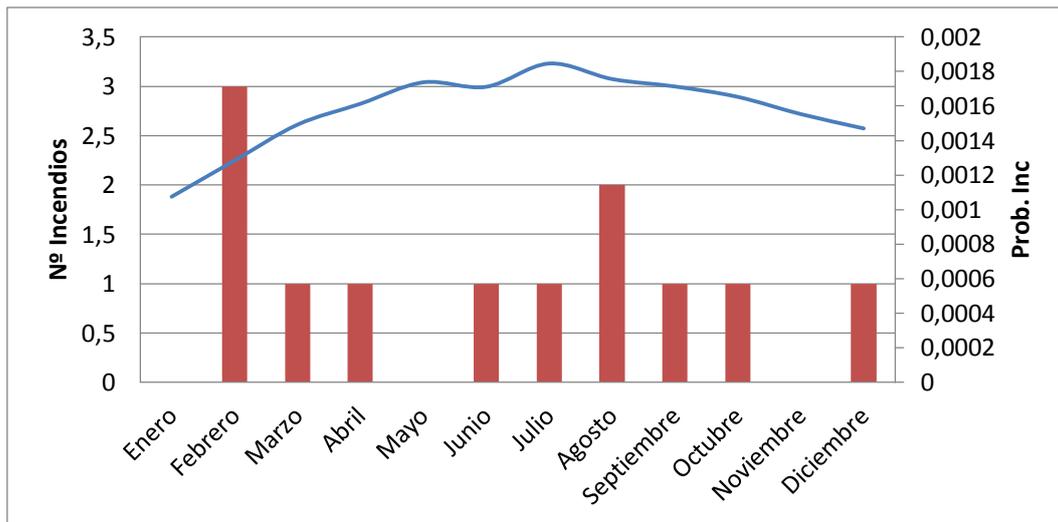


Figura 51: Distribución Temporal de la probabilidad de Incendio de más de 1 ha dada por la PNN y de número de incendios reales

Fuente: Elaboración propia

Se aprecia que la probabilidad arrojada por la red no tiene la misma correspondencia con el número de incendios reales que la que tenía la red que contaba todos los incendios. Esto es debido principalmente a la menor cantidad de incendios de más de 1 ha.

Los 12 incendios de esta red, frente a los 85 de la red anterior, tienen una distribución temporal más lineal, lo cual hace a la red darle un peso mucho menor al input mensual, distribuyendo este peso entre el resto de inputs de la red. Así pues, se aprecia una curva de probabilidad de incendio que se ajusta mucho más a lo esperado a priori, con una forma acampanada cuyo pico de máxima probabilidad se encuentra en los meses de verano. Esta distribución del peso del input mensual, se aprecia mucho más cuando se analiza la influencia individual de cada una de las variables de la red.

III.2.1.3.2 Análisis de la influencia de las variables en la probabilidad de incendio

Como se ha comentado en el apartado anterior, la influencia del input mensual en esta red es mucho menor que en la red anterior, debido a que para que se den incendios de más de una hectárea, no sólo deben darse condiciones sociales proclives a conatos, como era el caso de la red anterior, sino que también se deben de dar condiciones ambientales capaces de propagar esos incendios hasta convertirlos en incendios forestales.

A continuación se muestran los resultados de las correlaciones entre la probabilidad de incendio y las diferentes variables:

Tabla 14: Correlaciones entre prob. incendio más 1 ha e inputs de la red

		Vel. del viento media	Vel. del viento media 4 días anteriores	Temp. del aire	Temp. del aire media 4 días anteriores	Humedad relativa	Humedad relativa media 4 días anteriores
Prob. de Incendio superior a 1 Ha	Corr. de Pearson	0,713*	0,319*	0,578*	0,279*	-0,390*	-0,189*
	Sig. (bilateral)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	N	3565	3565	3565	3565	3565	3565
*. La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral).							

Se aprecia que en esta ocasión sí existe un peso elevado de las variables meteorológicas frente a la probabilidad de incendio. Especialmente en lo referente a la temperatura y, principalmente, a la velocidad del viento.

Con lo que respecta a la distribución mensual de probabilidades de incendio, obtenemos el siguiente gráfico:

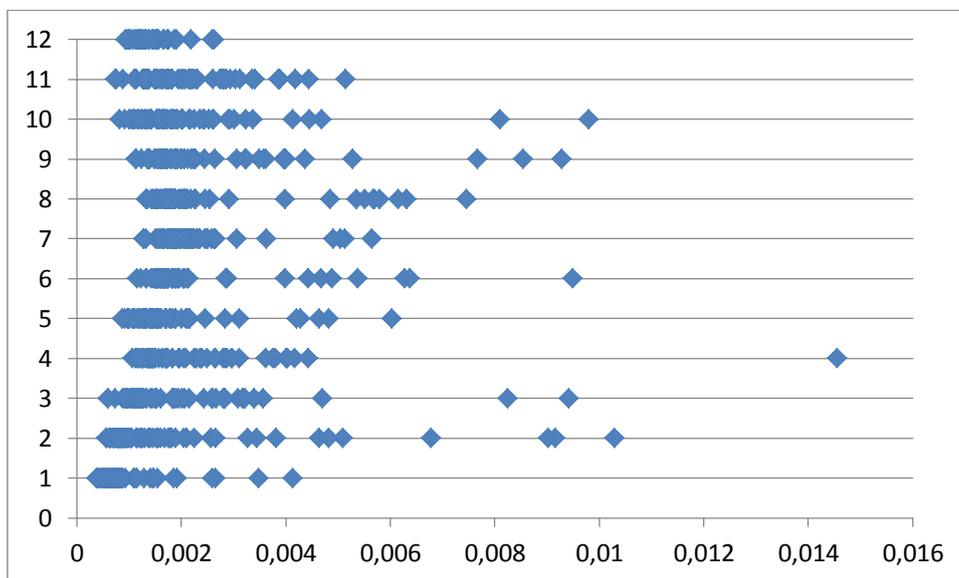


Figura 52: Intervalo de probabilidad de incendio de más de 1 ha según mes del año

Fuente: Elaboración propia

En donde se aprecia que la distribución mensual de probabilidades no tiene un peso tan marcado como en la red anterior. Describiendo el grueso de probabilidades una línea acampanada anual, y repartiéndose a lo largo de todo el año los picos de máxima probabilidad.

De los resultados de este estudio se deduce que la probabilidad de que exista un conato de incendio en un área de interfaz urbano-forestal depende en su mayor medida de las condiciones sociales, y no tanto de las condiciones meteorológicas; tal y como se ha demostrado en la aplicación de la red neuronal que contemplaba todos los casos de incendio. Sin embargo, cuando se analiza únicamente aquellos casos de incendio que han superado la hectárea, se observa que el factor predominante pasa a ser la velocidad del viento en el día, seguido de la temperatura y la humedad relativa.

Estos resultados serán de gran utilidad a la hora de determinar la importancia que una alarma producida por un sistema infrarrojo debe tener para el servicio de prevención y extinción de incendios del que dependa; tal y como se mostrará más adelante.

III.2.1.3.3 Validación de la Red Neuronal para incendios de más de 1 ha

Ante la relevancia de los resultados obtenidos en la Red Neuronal para incendios de más de 1 ha, y ante el escaso ajuste que, en comparación con la red anterior, tenían las probabilidades de incendio de la red con el total de incendios acumulados, se procedió a validar los resultados de la red mediante dos maneras diferentes: comparación de la red con los mapas de riesgo de AEMET y comparación de la red con una nueva red sin input mensual.

III.2.1.3.3.1 Comparación de la red con los mapas de riesgo de AEMET

Por un lado, se solicitó información a la Agencia Estatal de Meteorología acerca de la disponibilidad de los datos de mapas de riesgo de incendio en la zona; ante esta petición la AEMET informó que la información disponible a nivel nacional databa de 2005 en adelante; y que era información relativa a niveles de riesgos basados en información meteorológica y de estado de vegetación.

Estos mapas sobre los que informó la AEMET, son precisamente los que, según el Plan Especial frente al Riesgo de Incendios Forestales de la Comunidad Valenciana, el Centro Territorial de la AEMET en Valencia hace llegar al Centro de Coordinación de Emergencias de la Comunidad Valenciana, el cual, y una vez considerados los factores socio-culturales y el resto

de situaciones que pudieran elevar el nivel de gravedad, establece el nivel de preemergencia correspondiente que, tal y como ya se ha comentado, puede ser:

- Nivel 1: riesgo bajo-medio de incendio forestal
- Nivel 2: riesgo alto de incendio forestal
- Nivel 3: riesgo extremo de incendio forestal

Dada esta situación, se solicitó al Centro de Coordinación de Emergencias de la Comunidad Valenciana el histórico de los mapas de niveles de preemergencia; pero ante esta solicitud, se nos remitió a la Dirección General de Prevención, Extinción de Incendios y Emergencias, de la que no se obtuvo respuesta.

Así pues, se solicitó la información histórica a la Agencia Estatal de Meteorología, la cual hizo llegar la siguiente información:

- MAPAS DEL ÍNDICE IRIF (Índice de riesgo de incendio forestal) para las campañas 2005, 2006, 2007, 2008 y 2009
- Niveles de Riesgo según Índice FWI, para las campañas de 2008 hasta la actualidad.

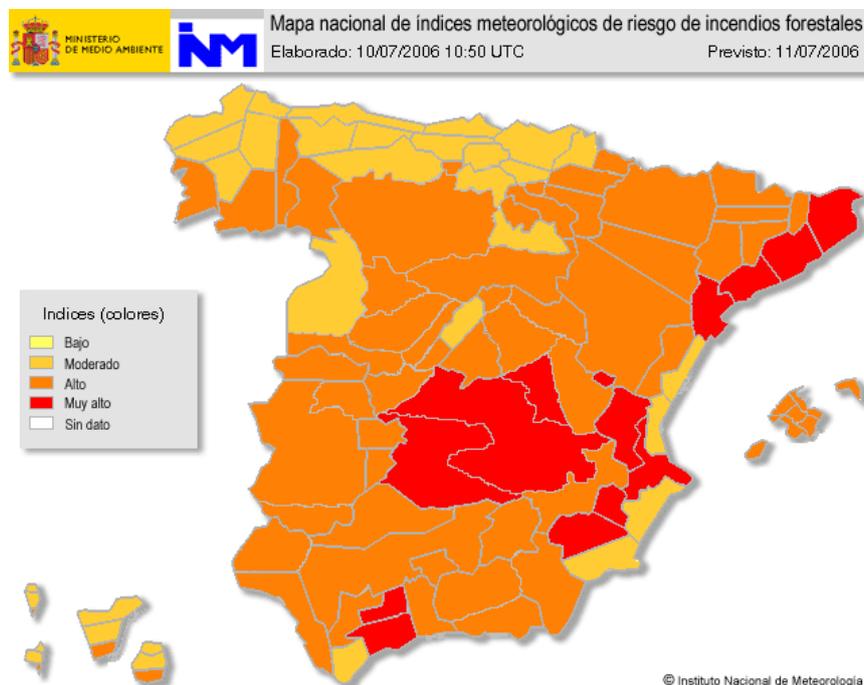


Figura 53: Ejemplo de Mapa de IRIF

Fuente: AEMET

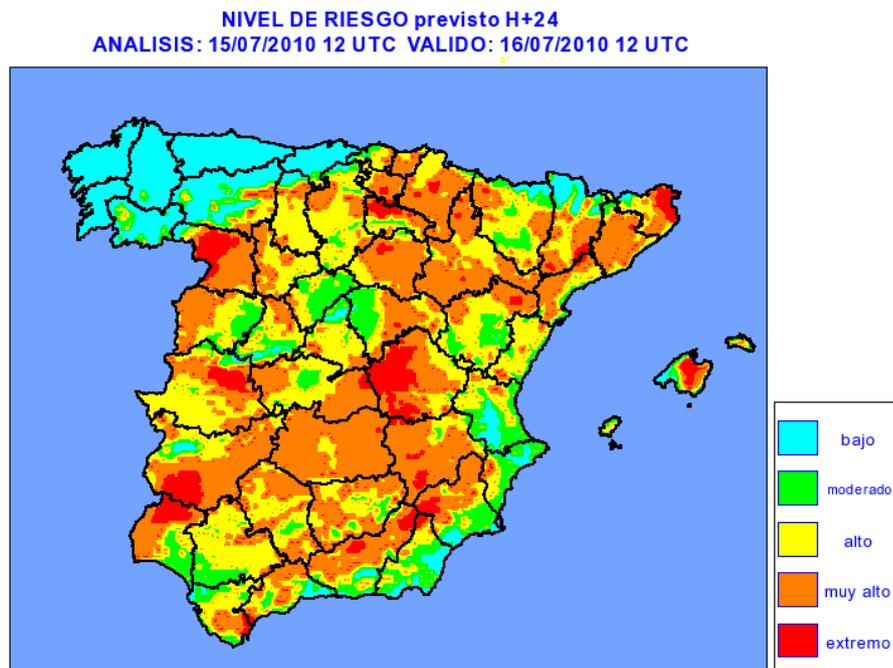


Figura 54: Ejemplo de Mapa de Nivel de Riesgo según IFW

Fuente: AEMET

Del conjunto de mapas se extrajo la información relativa a la Devesa de la Albufera de Valencia, en formato tabla, y se compararon los resultados de los mismos con los resultados obtenidos en la red. Para las fechas de incendio de más de una hectárea, se obtuvo el siguiente resultado:

Tabla 15: Comparación de resultados de Red Neuronal para incendios de más de 1 ha con índices de riesgos facilitados por AEMET

FECHA de INCENDIO (de más de 1 ha)	RIESGO RED	RIESGO IRIF	RIESGO IFW
05/08/2000	EXTREMO	SIN DATO	SIN DATO
11/09/2000	EXTREMO	SIN DATO	SIN DATO
23/02/2002	EXTREMO	SIN DATO	SIN DATO
28/02/2002	EXTREMO	SIN DATO	SIN DATO
09/10/2004	EXTREMO	SIN DATO	SIN DATO
27/12/2004	EXTREMO	SIN DATO	SIN DATO
18/04/2005	EXTREMO	SIN DATO	SIN DATO
25/07/2005	EXTREMO	MODERADO	SIN DATO
22/08/2005	EXTREMO	MODERADO	SIN DATO
20/06/2007	EXTREMO	MODERADO	SIN DATO

Fuente: Elaboración propia

Se aprecia en la tabla anterior que la red arroja valores de riesgo extremo en todos los casos de incendio, mientras que apenas se cuenta con datos del riesgo de incendio de los índices de AEMET, ya que la mayoría de los incendios estudiados están fuera del periodo de vigilancia (Julio-Octubre); sin embargo, en los tres casos de incendio de los que la AEMET sí que dispone datos, el índice era dos niveles inferior al establecido por la red.

Estos tres valores, pese a no ser estadísticamente significativos, sí que dan pie a pensar que la red tiene un mejor comportamiento, en esta zona específica, que los índices de AEMET los cuales no están diseñados para el estudio de zonas periurbanas.

Si comparamos el total acumulado de niveles de riesgo por mes de cada uno de los índices, obtenemos el siguiente resultado:

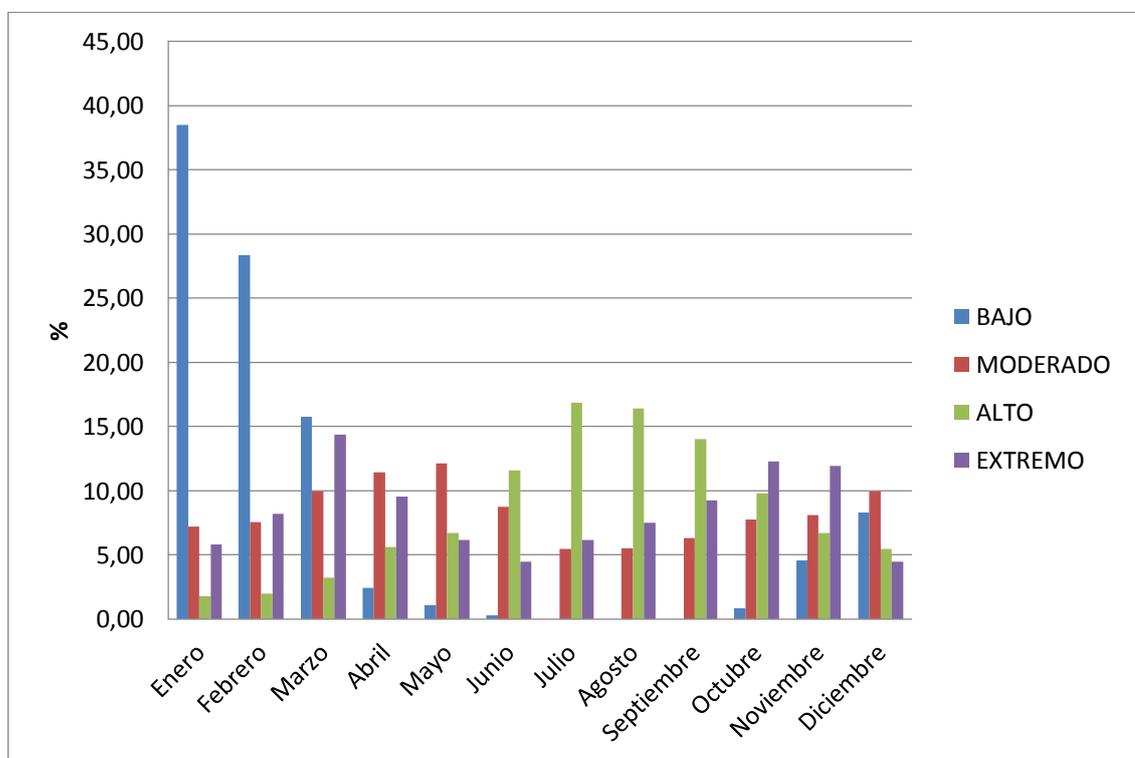


Figura 55: Índices mensuales porcentuales de la red para incendios de más 1 ha

Fuente: Elaboración propia

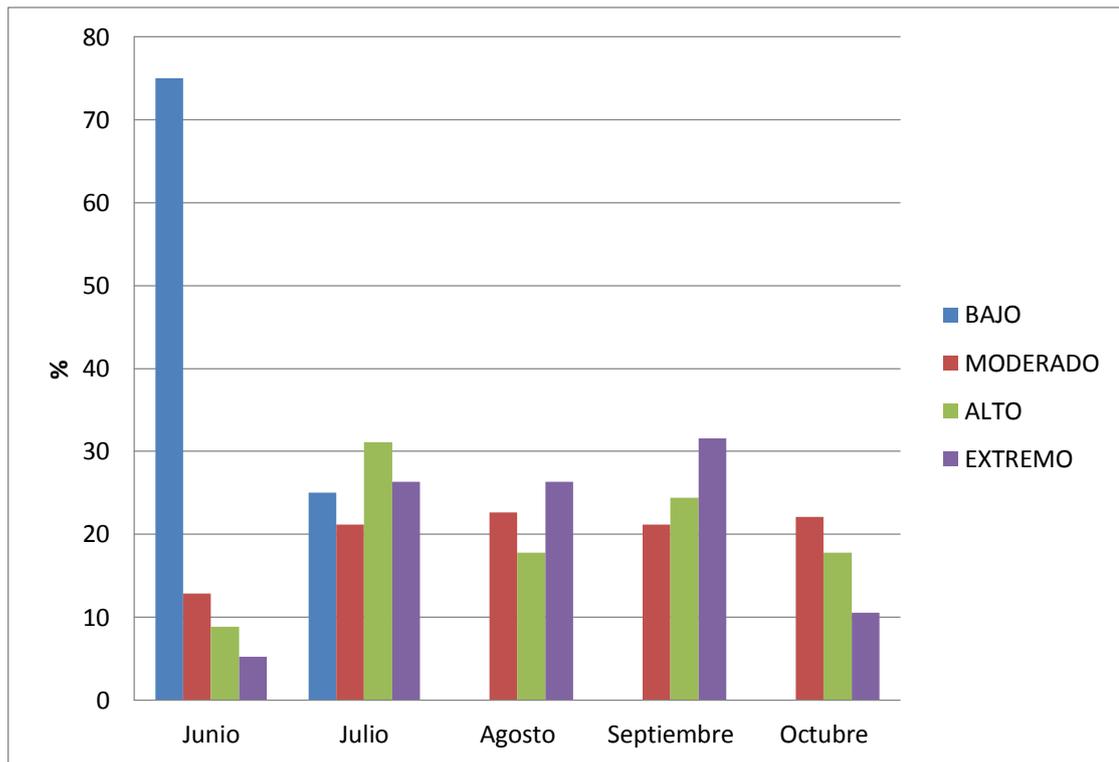


Figura 56: Índices mensuales porcentuales IRIF

Fuente: Elaboración propia

De la comparación de las dos figuras anteriores, vemos que la Red, al tratar todos los meses del año, distribuye los valores de bajo riesgo de incendio en aquellos meses correspondientes al invierno, alcanzándose el pico en el mes de enero; por su parte, el IRIF al tratar sólo los meses de campaña, aglutina los valores de índice Bajo en los meses de Junio y Julio.

En lo que respecta al valor moderado, se aprecia que en la red tiene una forma sinoidal, alcanzándose el pico en los meses de primavera, descendiendo en verano y volviendo a subir en otoño para bajar en invierno; por su parte en IRIF estos valores son prácticamente lineales, salvo en el mes de junio que es considerablemente inferior al resto de meses.

El valor alto en la red se acumula en los meses de verano, creciendo poco a poco desde el principio de año para alcanzar su pico en julio y agosto, y descender a partir de ahí; por su parte en el IRIF zigzaguean subiendo y bajando alternativamente cada mes.

Finalmente, respecto al valor extremo, vemos que la red vuelve a considerar los meses de primavera como aquellos de más ocurrencia de niveles de riesgo extremo; mientras que por su parte en IRIF este nivel crece mes a mes para alcanzar su pico en los meses de septiembre.

De esta comparación, y a la vista de la tabla 15 en donde se observa que sólo 6 de los 11 incendios de más de una hectárea ocurridos durante la época de estudio ocurrieron durante los meses de campaña ante riesgo de incendio forestal, esto es, sólo en 6 ocasiones se disponía de datos de nivel de riesgo de incendio por parte de AEMET; se pone de manifiesto que, si bien la red no está demostrado que mejore los resultados oficiales de la AEMET, sí que realiza un ajuste más específico de los niveles de riesgo de incendio; también para aquellos de más de una hectárea; esto refuerza una de las hipótesis de esta Tesis, la bondad de este tipo de herramientas matemáticas a la hora de realizar predicciones de niveles de riesgo de incendio específicos para aquellas zonas de alta presión antrópica, como son las áreas forestales de interfaz urbano-forestal.

III.2.1.3.3.2 Comparación de la red con nueva red sin Input mensual

A la vista de los resultados del apartado anterior, se dio por validada la red como elemento fiable en la predicción de riesgo de incendio en la Devesa de la Albufera; ahora bien, ante los resultados obtenidos en el apartado III.2.1.3.2, que ponían de manifiesto la fuerte influencia de las variables meteorológicas diarias en la determinación del riesgo de incendio, y disminuía la influencia de la variable mensual; se planteó la posibilidad de eliminar por completo el Input mensual de la red, para que ésta sólo tuviera en cuenta las variables meteorológicas a la hora de determinar la probabilidad de incendio.

Ante esto, se desarrolló una nueva red neuronal, esta vez con sólo cinco inputs, que no tenía en cuenta la variable mensual y, por tanto, clasificara la probabilidad desatendiendo las épocas del año y atendiendo solamente a factores meteorológicos. La estructura de esta red fue idéntica a la anterior, salvo que tan sólo tenía 5 inputs de entrada, el factor de *smoothing* también se ajustó a 0,3.

El resultado obtenido, frente a la red anterior, se muestra a continuación:

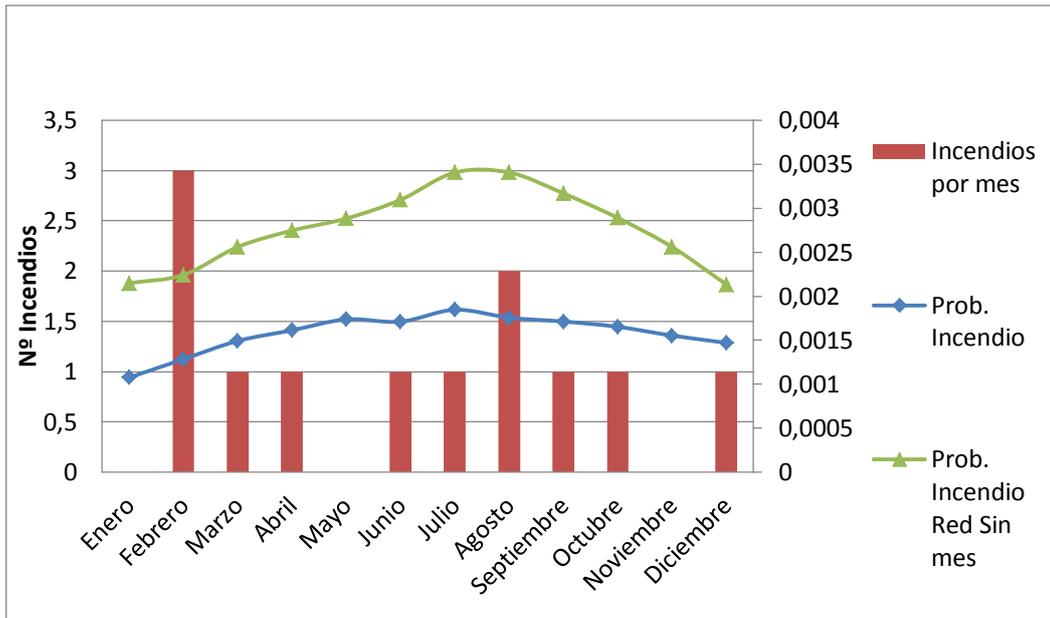


Figura 57: Comparación de probabilidad de incendios entre red sin input mensual y red con input mensual

Fuente: Elaboración propia

Se aprecia en la figura que el nivel de probabilidades general de la red sin input mensual es superior a la de la red con input mensual, esto implica que la introducción de una variable temporal disminuye la probabilidad frente a incendios que interpreta la red neuronal probabilística.

Por otro lado, se aprecia que la red sin input mensual tiene una forma acampanada que se corresponde con los meses de mayor calor y menor humedad, disminuyendo casi linealmente desde el pico de agosto hasta final de año. Sin embargo, esto no se corresponde con la realidad de incendios ocurridos durante el periodo de estudio; los cuales no se acumularon en los meses de verano, sino que se distribuyeron prácticamente de forma lineal a lo largo del año. Precisamente, esta distribución lineal viene recogida en la red que sí contempla el input mensual, la cual sí que aumenta su probabilidad de incendio en los meses de verano, pero el aumento es mucho más atenuado, acorde a la realidad de incendios en la zona.

Así pues, todos estos resultados dan pie a confirmar a la red neuronal desarrollada como válida a la hora de establecer niveles de riesgo de incendios de más de una hectárea en la zona de la Devesa; la cual será utilizada como una mejora al caso de estudio; tal y como se verá más adelante.

III.2.2 Sistema de detección de incendios mediante cámaras infrarrojas

Antes de iniciar la exposición de los resultados obtenidos en el análisis del sistema de detección de incendios mediante cámaras infrarrojas, debemos definir a lo que hemos llamado alarma no real y suceso.

Por un lado, del total de 11.328 alarmas analizadas, se ha llamado alarma no real a aquella alarma dada por el sistema y que no se corresponde con un incendio, las cuales ascendieron a un total de 10.519. Este tipo de alarmas, engloba tanto las “alarmas indeseadas”, provocadas por efectos ocasionales (como por ejemplo, una chimenea, la desaparición de una nube, un coche atravesando la zona bajo análisis, etc.); como las “falsas alarmas”, causadas por el ruido de fondo infrarrojo debido al entorno ([Bernabeu, 2002](#); [Bosch, 2005](#)).

Por otro lado, se ha llamado suceso a aquel conjunto de alarmas que se dan agrupadas tanto temporal como espacialmente, y que describen todas ellas un mismo episodio; bajo esta definición se ha analizado un total de 1.644 sucesos.

Así pues, aquellas alarmas que detecten un incendio, formarán todas ellas un único suceso real, existiendo un total de 5 sucesos reales en todo el periodo analizado. Mientras que aquellas alarmas no reales, que se den en torno a unas coordenadas y estén seguidas en el tiempo, formarán un único suceso no real, habiendo un total de 1.639 sucesos no reales analizados. A modo de ejemplo, a continuación se da un conjunto de alarmas, las cuales describen un único suceso no real:

Tabla 16: Ejemplo de un conjunto de alarmas no reales que definen un suceso no real

Dispositivo	Fecha y Hora	Mensaje	X	Y	Suceso
G4-MOVIL	07/01/2009 12:14	PERMANENCIA	729228	4361794	Inicio
G4-MOVIL	07/01/2009 12:14	PERMANENCIA	729228	4361794	
G4-MOVIL	07/01/2009 12:15	PERMANENCIA	729228	4361794	
G4-MOVIL	07/01/2009 12:15	INCENDIO	729228	4361794	
G4-MOVIL	07/01/2009 12:16	INCENDIO	729228	4361794	
G4-MOVIL	07/01/2009 12:16	INCENDIO	729228	4361794	Fin

Fuente: Elaboración propia

III.2.2.1 Análisis de las alarmas y sucesos no reales

Una vez definidos los conceptos de alarmas y sucesos no reales, exponemos a continuación los resultados del análisis realizado. Por un lado, en el periodo del caso de estudio (Noviembre 2007-Enero 2010) se detectaron un total de 10.519 alarmas no reales; las cuales constituyeron un total de 1.639 suceso no reales. La distribución mensual de los mismos, así como la distribución media mensual de las alarmas no reales, se muestra en los gráficos siguientes.

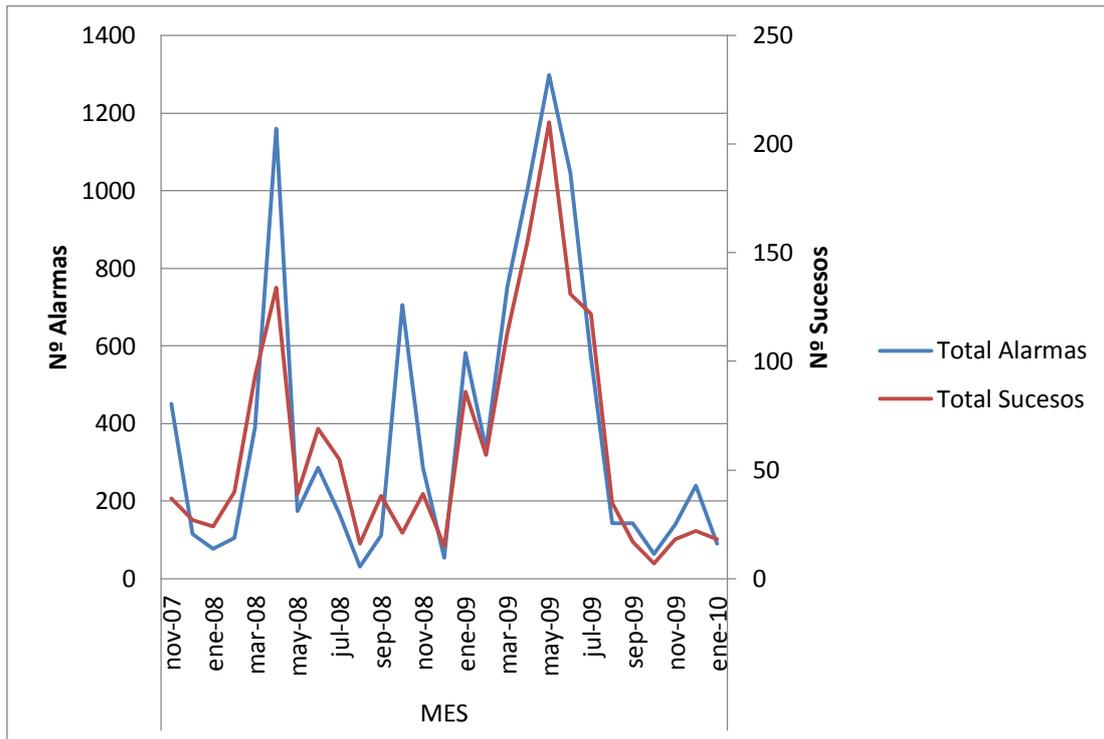


Figura 58: Distribución temporal de alarmas y sucesos no reales mensuales

Fuente: Elaboración propia

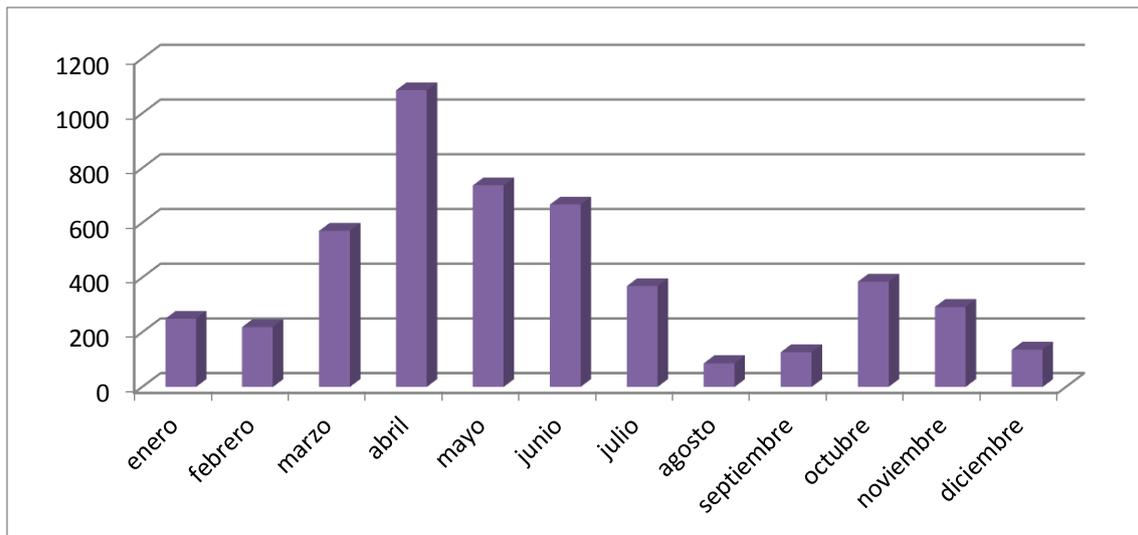


Figura 59: Distribución media mensual de alarmas no reales

Fuente: Elaboración propia

Se observa cómo existe una evidente correlación entre alarmas no reales y sucesos no reales, si bien, el número de las alarmas es aproximadamente 10 veces superior al número de sucesos. Por otro lado, se observa cómo el número de estas alarmas y sucesos alcanza sus valores máximos en la época de primavera, en lugar de la época estival como cabría esperar a priori. También se observa cómo el valor mínimo de ambos se alcanza en los últimos meses de estudio, lo cual da a entender el perfeccionamiento que se está dando en el sistema conforme se va conociendo el funcionamiento del mismo.

A la hora de plantearse cuál es el número de alarmas óptimo para definir un suceso, se debe de tener en cuenta el número mínimo de alarmas que se ha dado en aquellos sucesos reales de incendio, tema que se tratará más adelante. Si bien, sí que debemos plantearnos cuál es el número de alarmas que siempre definen un suceso no real y, por tanto, son siempre alarmas no reales. Para ello, se ha analizado la frecuencia con la que se dan los sucesos no reales, en función del número de alarmas no reales que lo componen, obteniéndose el siguiente resultado.

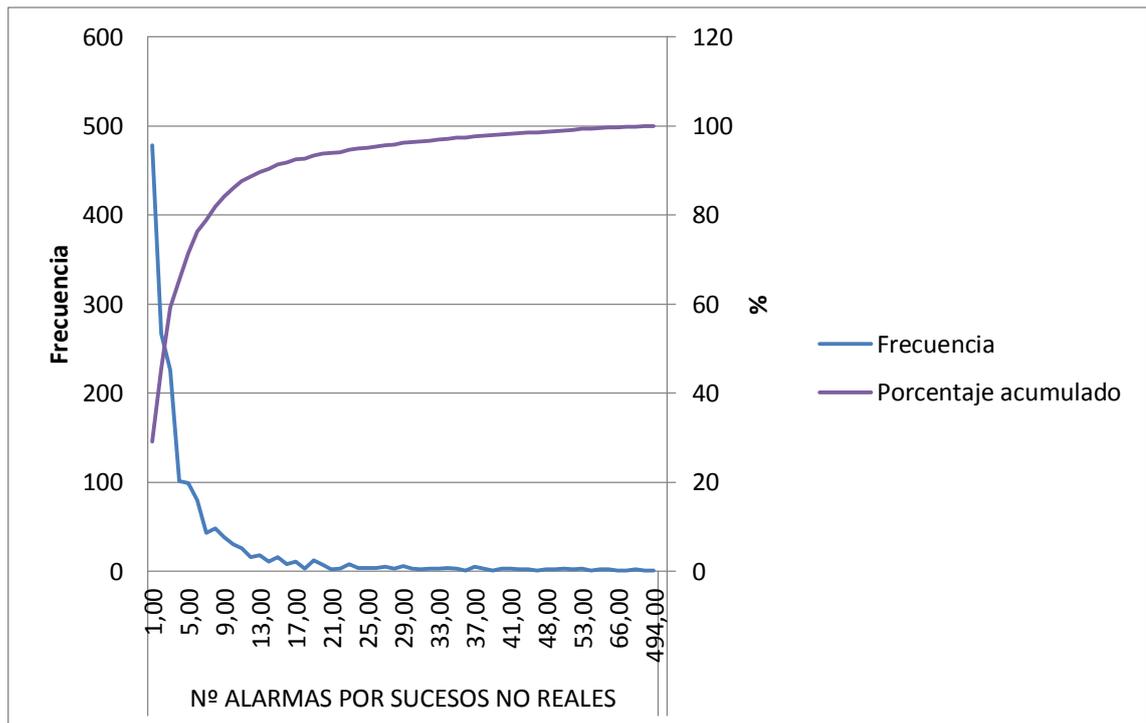


Figura 60: Frecuencia del número de alarmas por sucesos no reales

Fuente: Elaboración propia

Se aprecia claramente que el número de sucesos no reales compuesto por entre 1 y 2 alarmas no reales suponen en torno al 36% del total. Como se verá más adelante, el suceso real con menor número de alarmas reales está compuesto por 6 alarmas. Esto implica que todos aquellos sucesos compuestos por entre 1 y 2 alarmas han sido siempre sucesos no reales. En consecuencia, si se pudieran filtrar las alarmas para descartar automáticamente aquellas que se dan sueltas y aquellas que se dan agrupadas pero sólo dándose dos alarmas, se descartaría el 36% de sucesos no reales, lo cual implicaría descartar automáticamente el 7% del total de alarmas no reales; lo cual mejoraría sensiblemente la eficiencia del sistema.

Sin embargo para mejorar aún más esta eficiencia hay que conocer con más detalle el sistema, por lo que cabe cuestionarse si hay variables meteorológicas que le afecten y que tengan correlación con el número de alarmas no reales que da el mismo; así como también debe analizarse si existe una concentración de las alarmas no reales en algunas zonas concretas, y a algunas horas determinadas.

III.2.2.1.1 Distribución geográfica de las alarmas y sucesos no reales

III.2.2.1.1.1 Distribución geográfica de los sucesos no reales

Como ya se ha dicho, un suceso no real está formado por un conjunto de alarmas no reales que están agrupadas en el tiempo y en el espacio. Y, como ya se ha visto, el número de sucesos es diez veces inferior al número de alarmas, por lo que el análisis de su distribución resulta más sencillo ya que, como para cada alarma que genera el sistema tenemos sus coordenadas, es fácil obtener las coordenadas del suceso haciendo la media de las coordenadas de las alarmas que lo componen. Así pues, si atendemos a la desviación que tienen las coordenadas de los sucesos no reales, en relación con el número de sucesos, obtenemos los siguientes gráficos:

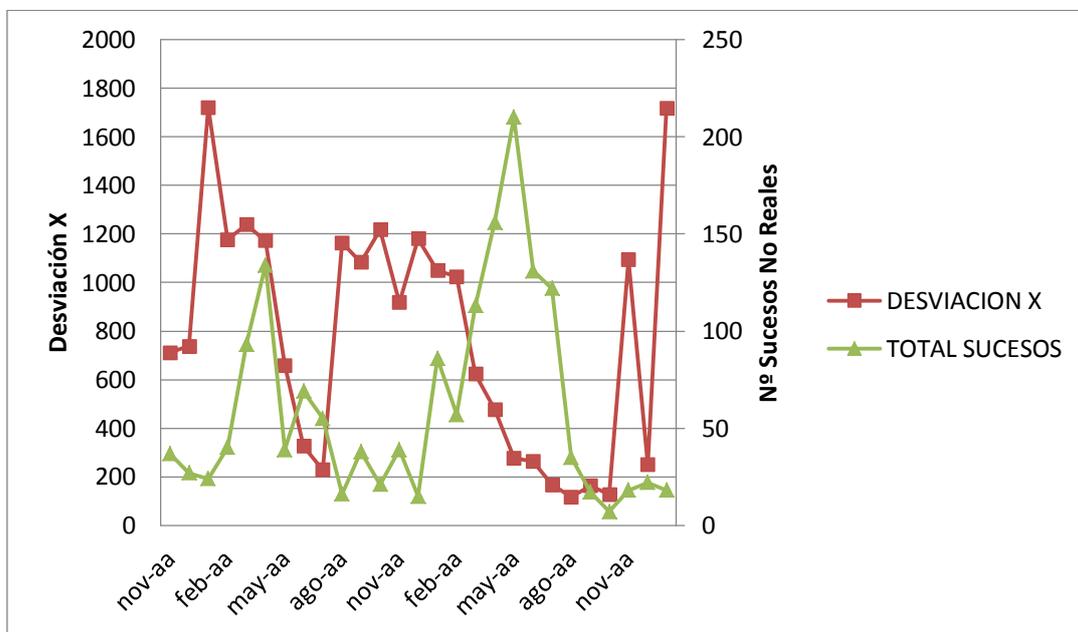


Figura 61: Distribución temporal de la desviación media mensual de la coordenada X de los sucesos no reales y del número total de sucesos no reales

Fuente: Elaboración propia

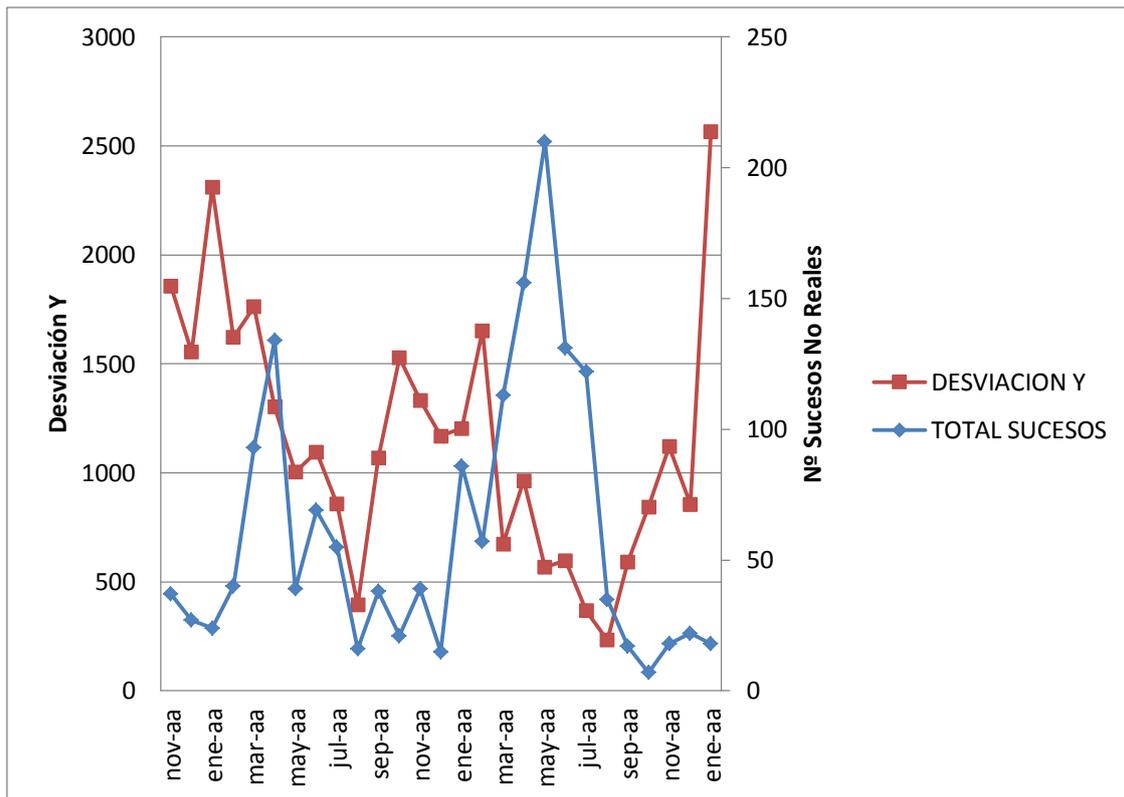


Figura 62: Distribución temporal de la desviación media mensual de la coordenada Y de los sucesos no reales y del número total de sucesos no reales

Fuente: Elaboración propia

De los gráficos anteriores se aprecia que a menor número de sucesos mayor es la desviación de las coordenadas (tanto X como Y), mientras que a mayor número de sucesos menor es la desviación de las mismas. Esto implica que cuando se produce un elevado número de alarmas no reales y, en consecuencia, de sucesos no reales; éstos se concentran en torno a unas coordenadas, lo que implica que es una única zona la que produce la mayoría de alarmas no reales. Estudiando en torno a qué coordenadas se concentran estos sucesos obtenemos los siguientes resultados.

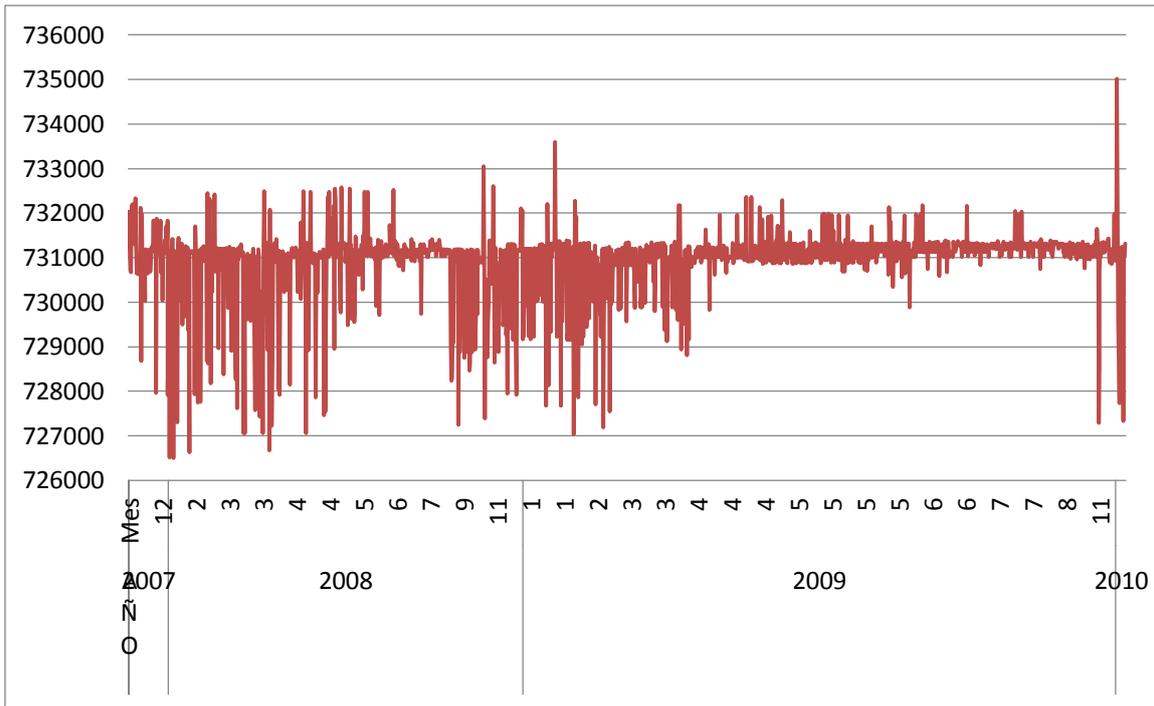


Figura 63: Distribución temporal de la media de la coordenada X de los sucesos no reales

Fuente: Elaboración propia

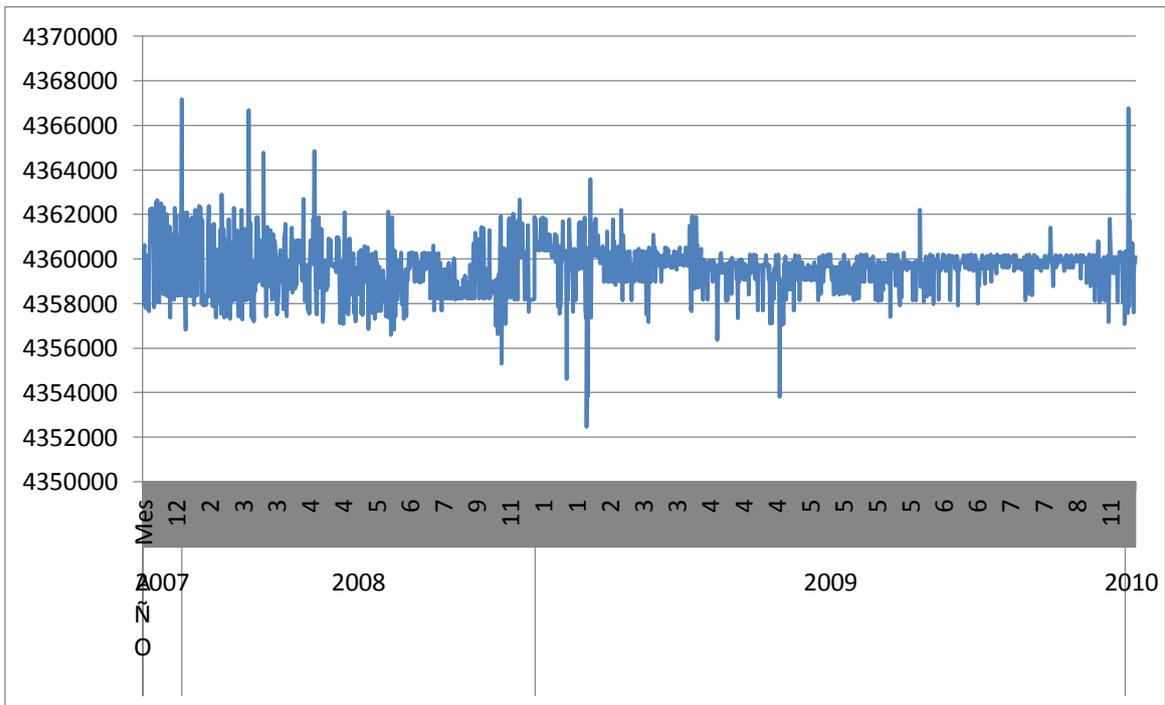


Figura 64: Distribución temporal de la media de la coordenada Y de los sucesos no reales

Fuente: Elaboración propia

Donde se aprecia que los sucesos no reales se dan en torno a las coordenadas $X=731000$ $Y=4360000$; coordenadas que coinciden con la localización de la Mallada Larga, lugar donde se produjo el mayor incendio del periodo de estudio, dado en marzo de 2008, en el que ardieron 4,8 ha. Si situamos en plano todos los sucesos, obtenemos los siguientes resultados.



Figura 65: Distribución espacial de todos los sucesos no reales

Fuente: Elaboración propia

En la imagen anterior se aprecia que gran cantidad de los sucesos se dan en torno a unas zonas determinadas:

- *Zonas acuáticas o de cultivo de arroz*, producto del reflejo de la radiación del sol en el agua
- *Zonas de playa*, debido al alto coeficiente de albedo que tiene la arena
- *Zonas de transición entre viales y vegetación*, producto de la presencia de arena sin vegetación en la interfase
- Zona próxima a la Gola del Pujol

Para analizar estos sucesos es conveniente ver la imagen anterior con más detalle.

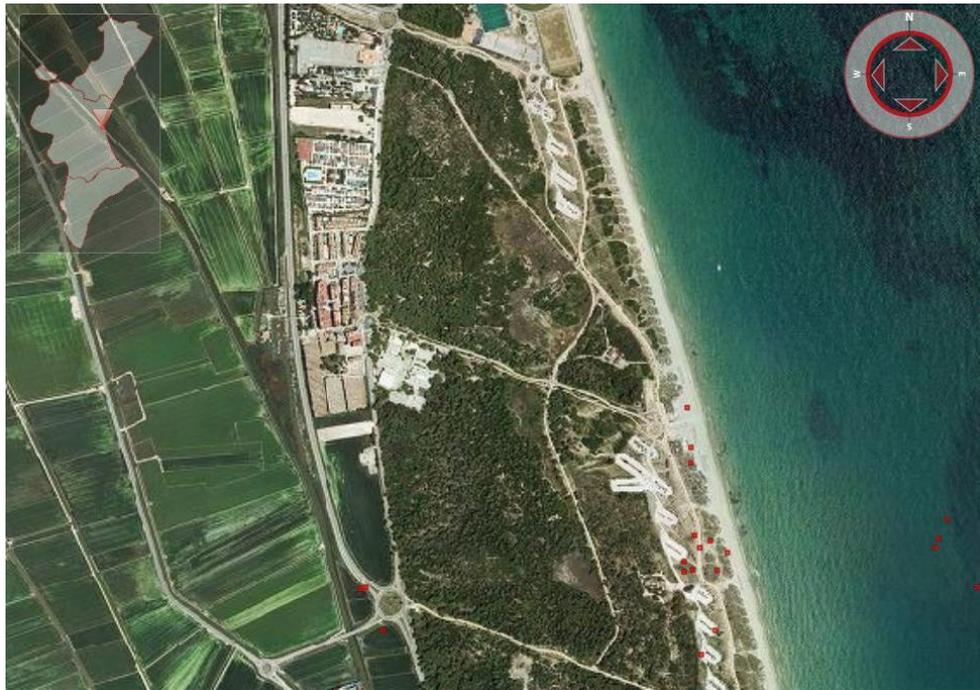


Figura 66: Distribución espacial de todos los sucesos no reales, entre el Tancat de la Creu y la Avenida de la Rambla

Fuente: Elaboración propia



Figura 67: Distribución espacial de todos los sucesos no reales, entre la Avenida de la Rambla y el Núcleo 5

Fuente: Elaboración propia



Figura 68: Distribución espacial de todos los sucesos no reales, entre el Núcleo 5 y la Gola del Pujol

Fuente: Elaboración propia



Figura 69: Distribución espacial de todos los sucesos no reales, entre la Gola del Pujol y el Racó de l'Olla

Fuente: Elaboración propia

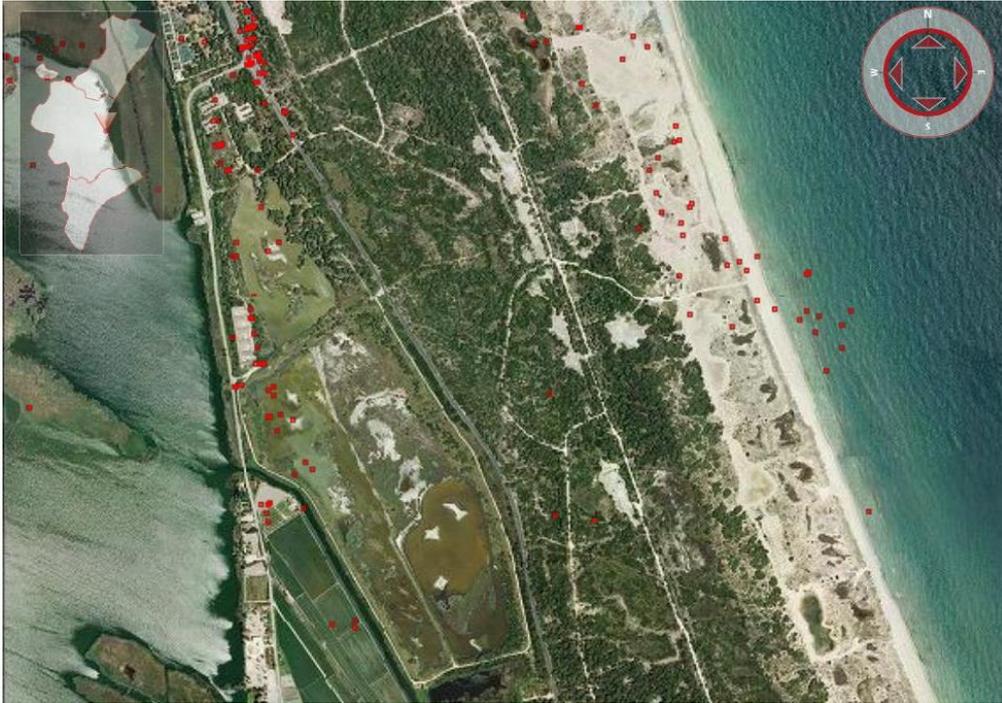


Figura 70: Distribución espacial de todos los sucesos no reales, entre el Racó de l'Olla y Devesa Gardens

Fuente: Elaboración propia

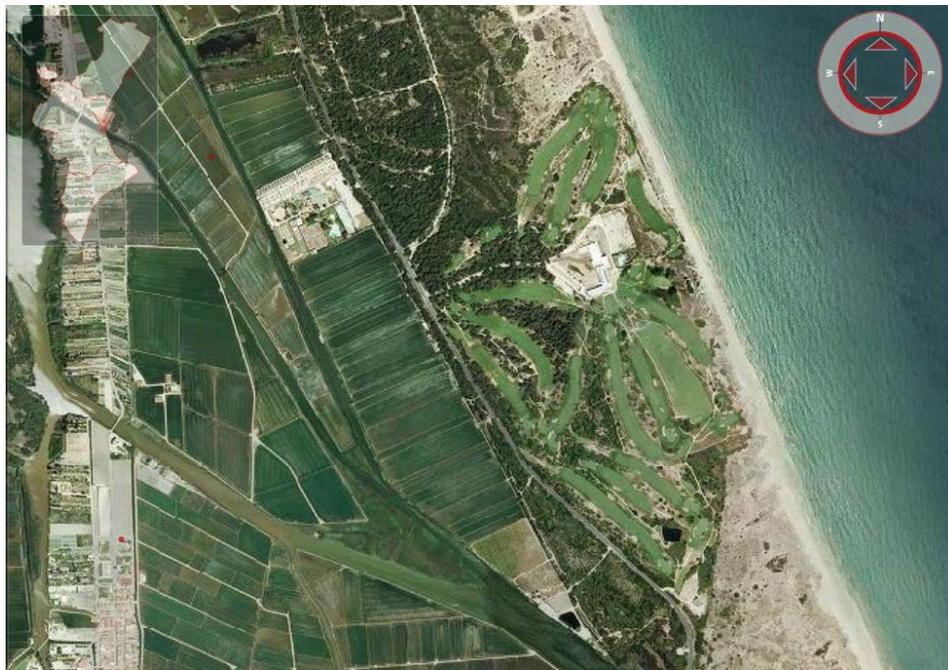


Figura 71: Distribución espacial de todos los sucesos no reales, entre Devesa Gardens y Gola del Perellonet

Fuente: Elaboración propia

En las imágenes anteriores se pueden apreciar los siguientes resultados:

- En la zona forestal próxima al pueblo de El Saler (*Figura 66*), los sucesos no reales se concentran en la zona costera, especialmente en la zona de aparcamiento de vehículos. Es destacable la ausencia de sucesos en la zona más cercana al *Tancat de la Creu* y, en consecuencia, la más lejana a las cámaras.
- La zona situada entre la Avenida de la Rambla y el Núcleo 5 (*Figura 67*) presenta básicamente los sucesos en la zona dedicada al cultivo de arroz y zonas arenosas, con cierta incidencia de los reflejos en los edificios del Núcleo 5.
- La zona situada entre el Hotel Sidi Saler, la urbanización La Casbah y los edificios de las Torres Blancas y las Torres del Saler (*Figura 68*) presenta una fuerte concentración de sucesos no reales. Por un lado, se da una concentración al sur del Sidi Saler, en las dunas situadas entre éste y La Casbah, producto del reflejo de la radiación sobre la arena. Por otro lado, hay un elevado número de sucesos no reales en la zona donde se produjo el incendio de marzo de 2008. Esto es debido a que este incendio dejó sin cubierta vegetal la zona, por lo que a partir del incendio el reflejo de la radiación ya no era detenido por esta cubierta. Finalmente, en esta imagen se aprecia cómo otro gran número de sucesos no reales se dan alineados con la Avenida del Pujol, concretamente en los márgenes de la misma, donde se produce la interfase asfalto-vegetación, por lo que el reflejo de la radiación sobre la arena vuelve a no tener protección de cubierta vegetal.
- Si observamos la zona situada al sur de la Gola del Pujol (*Figura 69*), observamos otra concentración de sucesos no reales en la zona donde se ubica uno de los edificios de los grupos electrógenos de la Gola, edificio muy cercano la cámara de la Gola 26; además también se aprecia una agrupación alrededor del Camino Viejo de la Devesa y la CV-500, debidos también a la ausencia de cubierta vegetal.
- Los sucesos dados al sur del Racó de l'Olla (*Figura 70*), se vuelven a concentrar en zonas arenosas de la costa, así como en zonas de cultivo. Cabe destacar que nuevamente conforme nos alejamos de las cámaras, el número de sucesos disminuye, por lo que se intuye que la línea de horizonte empieza a impedir la detección a partir de esta zona.

- Finalmente, en la zona alrededor del campo de golf (*Figura 71*), observamos la poca cantidad de sucesos, precisamente debido a la lejanía de las cámaras de detección.

Así pues, se puede deducir que la mayoría de sucesos no reales se agrupan en zonas arenosas cercanas a las cámaras, en interfase de asfalto-vegetación y, especialmente, en las zonas donde se ha producido un incendio cercano en el tiempo; zonas todas ellas donde la superficie del terreno tiene un alto valor de albedo, lo cual concuerda con los resultados obtenidos en el análisis de la influencia de las variables meteorológicas que se mostrarán más adelante. A continuación se muestran dos imágenes de zonas con gran concentración de sucesos no reales.



Figura 72: Fotografía a fecha octubre 2010 de la Mallada Larga

Fuente: Elaboración propia



Figura 73: Edificio del grupo electrógeno de la Gola del Pujol

Fuente: Elaboración propia

III.2.2.1.1.2 Distribución geográfica de las alarmas no reales

Como se ha visto en el apartado anterior, a mayor número de sucesos (y por tanto de alarmas), mayor es la concentración en torno a unas determinadas coordenadas. Así pues, repetir el análisis de las desviaciones de las alarmas sería redundante, pues los sucesos son promedios de las alarmas.

Sin embargo, para confirmar que el análisis realizado con los sucesos es válido, sí que resulta interesante analizar la frecuencia con la que se repiten todas las alarmas no reales, a fin de averiguar qué coordenadas en concreto son las que producen un mayor número de las mismas y, en consecuencia, verificar que la agrupación hecha en los sucesos era correcta.

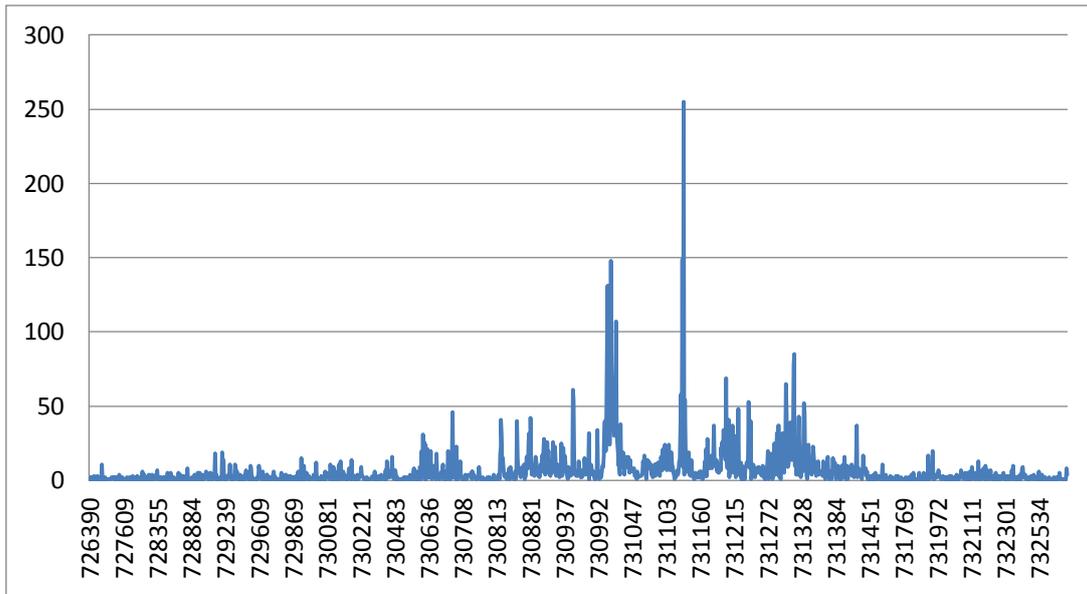


Figura 74: Frecuencia de coordenadas X de alarmas no reales

Fuente: Elaboración propia

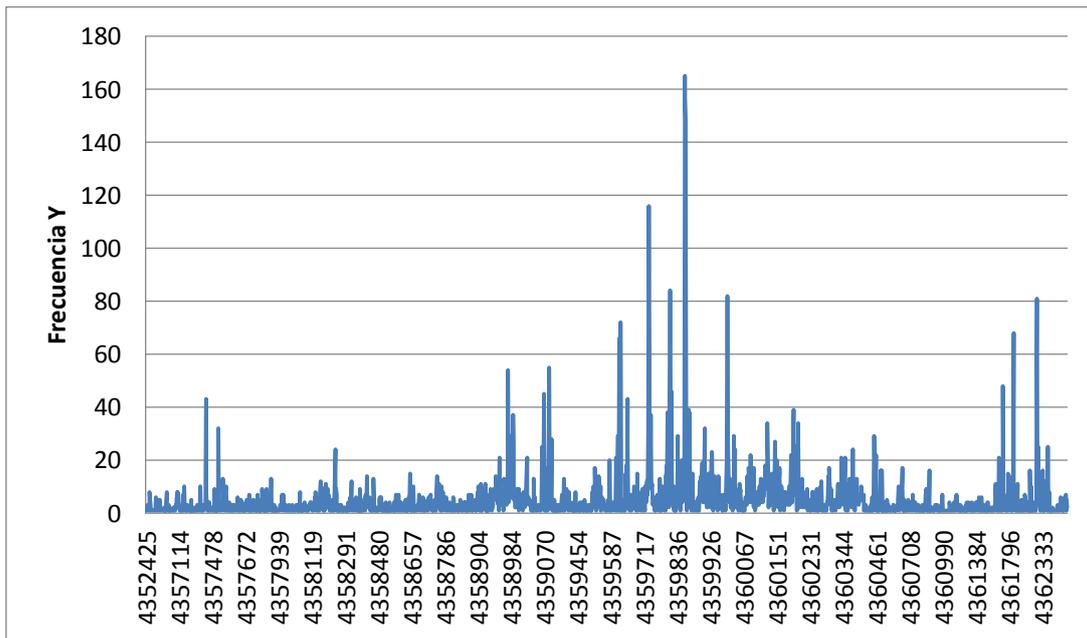


Figura 75: Frecuencia de coordenadas Y de alarmas no reales

Fuente: Elaboración propia

Respecto a las coordenadas X, se aprecian dos claros picos en torno a las coordenadas 731000 y 731100, mientras que respecto a las coordenadas Y se observan picos en torno a las coordenadas 4359624 y 4359858. Por lo que, de nuevo, vuelve a ponerse de manifiesto que las alarmas no reales más abundantes se han dado en la zona de la Mallada Larga.

Finalmente, para confirmar que la distribución de los sucesos era consecuente con la distribución de las alarmas, se ha proyectado el conjunto de todas las alarmas no reales en la Devesa durante el periodo de estudio.



Figura 76: Distribución espacial de todas las Alarmas No Reales

Fuente: Elaboración propia

Se observa que la agrupación de todas las alarmas coincide con la agrupación de todos los sucesos. Por lo que los resultados obtenidos del análisis pormenorizado de los sucesos, son extrapolables al conjunto de todas las alarmas.

III.2.2.1.1.3 Distribución horaria de las alarmas no reales

Tomando el número total de las alarmas no reales y agrupándolas según la hora a la que se han dado, obtenemos el siguiente resultado.

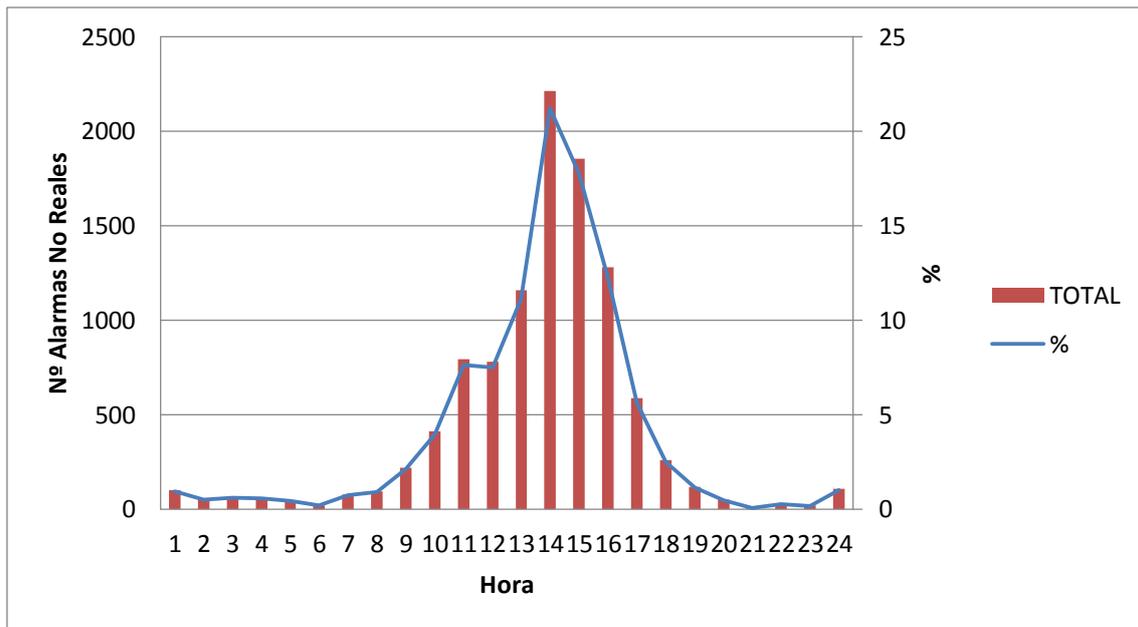


Figura 77: Distribución horaria de Alarmas No Reales

Fuente: Elaboración propia

Se aprecia claramente cómo las horas centrales del día acaparan el mayor número de alarmas no reales. Entre las 13 y las 16 horas se dan el 62,4 % de las alarmas no reales; coincidiendo pues con las horas de mayor radiación, lo cual guarda concordancia con los resultados, que se mostrarán más adelante, obtenidos de correlacionar las variables meteorológicas con las alarmas no reales.

III.2.2.1.1.4 Distribución de las alarmas según cámara de detección

Como ya se ha descrito, el sistema de detección de incendios del caso de estudio está formado por 4 cámara termográficas, situadas en los edificios de la Avenida Gola del Pujol número 4, 10 y 26. Habiendo generado el sistema durante el periodo estudiado un total de 11.328 alarmas, de las cuales 10.519 eran alarmas no reales. A la hora de analizar con detalle el sistema, resulta interesante conocer cuáles son aquellas cámaras que más alarmas no reales han causado.

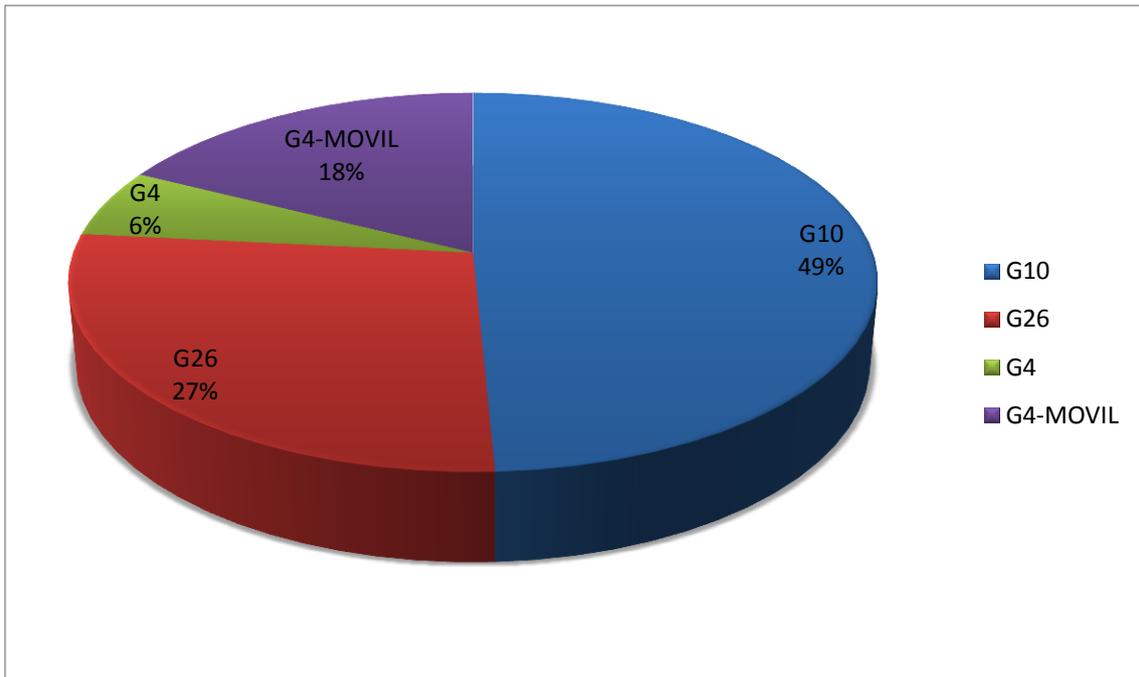


Figura 78: Porcentaje de detección de alarmas no reales según cámara

Fuente: Elaboración propia

De nuevo, vuelven a ponerse de manifiesto los resultados obtenidos del análisis de las coordenadas de las alarmas. Aquellas cámaras que más alarmas no reales han detectado han sido precisamente las que miran hacia el este (G10) y sur (G26). En esas direcciones, además de encontrarse la mayor parte de zonas arenosas, urbanizadas y asfaltadas, resultan ser aquellas que reciben la mayor cantidad de radiación a lo largo del día.

Si analizamos la evolución temporal de las alarmas no reales por cámaras, obtenemos el siguiente resultado.

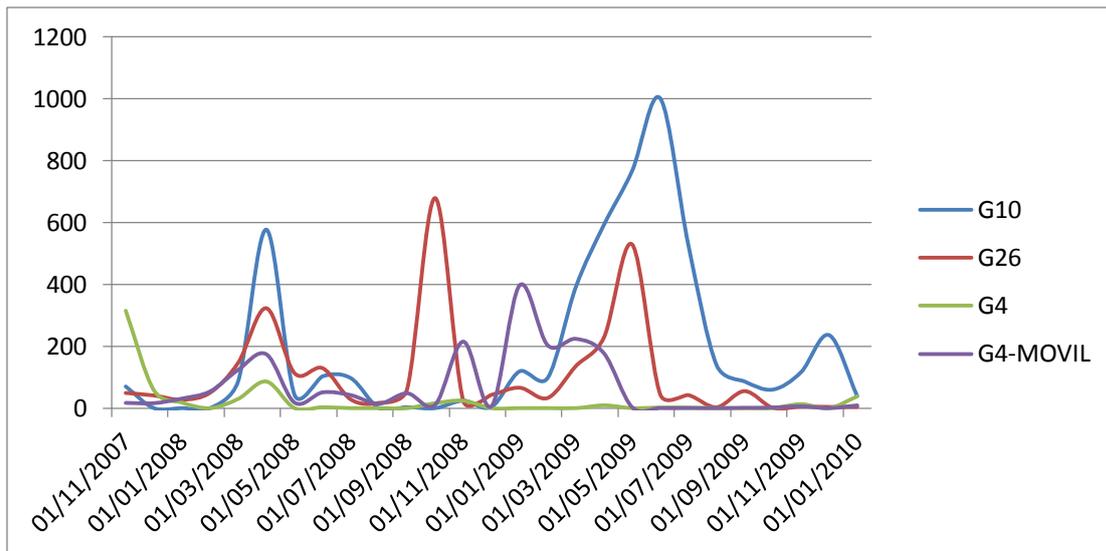


Figura 79: Distribución temporal de detección de alarmas no reales según cámara

Fuente: Elaboración propia

En el que se aprecia cómo la cámara G10 alcanza su pico de 2008 en los meses posteriores al incendio, mientras que en 2009 los niveles alcanza el pico en los meses previos al verano. Por su parte, la G26 alcanza su pico máximo en octubre de 2008, producto de un fallo continuado en el funcionamiento de la misma durante ese mes.

III.2.2.1.2 Correlaciones de las variables meteorológicas con las alarmas y sucesos no reales

Para conocer con mayor profundidad el sistema de detección de incendios mediante cámaras infrarrojas, es interesante conocer si las condiciones meteorológicas tienen influencia sobre el mismo. Para este análisis se ha agrupado el total de alarmas que se dieron a diario durante el periodo del *Caso de estudio*, este número de alarmas diario se ha comparado con las variables meteorológicas medias diarias obtenidas en la Estación Agroclimática de la red SIAR del Ministerio de Medio Ambiente Rural y Marino situada en el municipio de Picassent.

Dichas variables meteorológicas con las que se han correlacionado las alarmas y sucesos no reales son:

- Temperatura Media
- Velocidad del Viento Media
- Velocidad del Viento Máxima
- Humedad Relativa Media

- Radiación
- Precipitación
- EtP Mon (evapotranspiración de referencia (ET_o) por Penman- Monteith)

Para realizar las correlaciones, se han normalizado los datos aplicando la formulación (1), la cual ha sido anteriormente expuesta. Siendo la función de transformación la siguiente, de dos parámetros:

$$z = \left[\frac{x}{M} \right]^\alpha$$

Donde x es el dato a normalizar, M es el máximo de toda la serie de datos y α es un coeficiente para la reducción del sesgo.

Así pues, ambas variables correlacionadas se han normalizado en función del coeficiente α que producía un menor sesgo en la correlación; siendo el coeficiente α elegido aquel que proporcionaba un valor más alto de R^2 en la recta de regresión de ambos parámetros.

III.2.2.1.2.1 Correlación alarmas no reales con temperatura media

Para la correlación de las alarmas no reales con la temperatura media diaria se utilizó un coeficiente de normalización $\alpha = 0,4$; con el cual se obtenía la siguiente correlación.

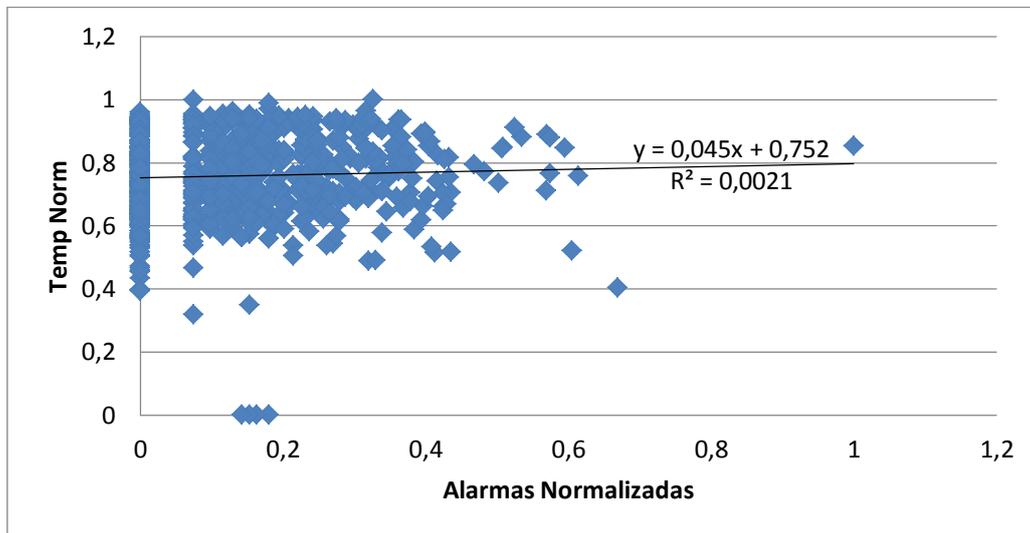


Figura 80: Temperatura media diaria normalizada frente a alarmas no reales medias diarias normalizadas

Fuente: Elaboración propia

Tabla 17: Estadísticos descriptivos de la correlación de temperatura media diaria normalizada y alarmas no reales medias diarias normalizadas

		Temperatura media normalizada	Alarmas normalizadas
Temperatura media normalizada	Correlación de Pearson	1	0,046
	Sig. (bilateral)		0,185
	N	823	823
Alarmas normalizadas	Correlación de Pearson	0,046	1
	Sig. (bilateral)	0,185	
	N	823	823

Fuente: Elaboración propia

Se observa que no existe correlación lineal entre ambas variables.

III.2.2.1.2.2 Correlación alarmas no reales con velocidad de viento media diaria

Para la correlación de las alarmas no reales con la velocidad del viento media diaria, se utilizó un coeficiente de normalización $\alpha=0,3$; con el cual se obtenía la siguiente correlación.

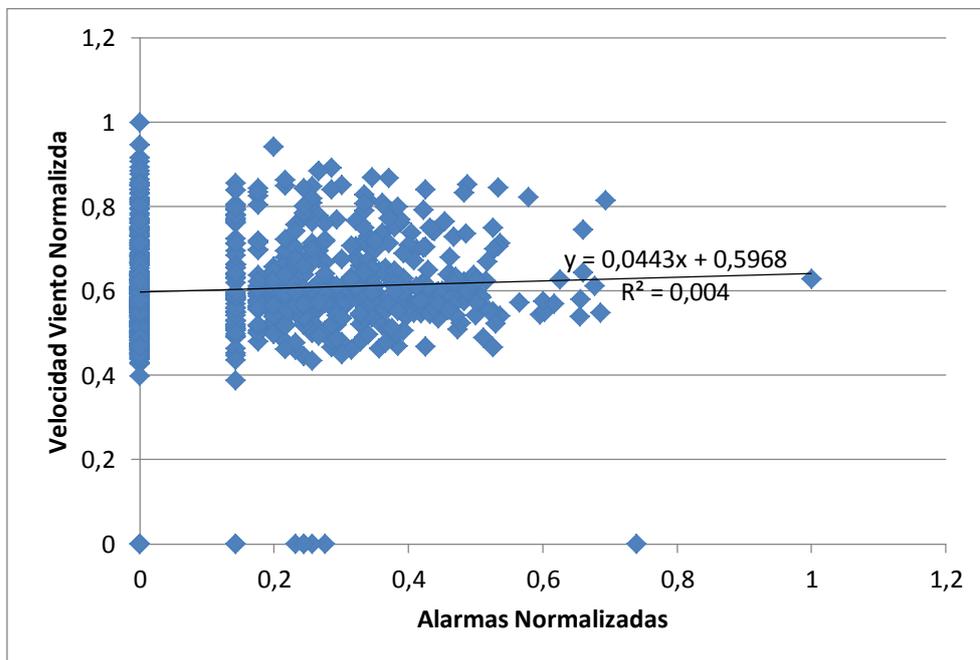


Figura 81: Velocidad del viento media diaria normalizada frente a alarmas no reales medias diarias normalizadas

Fuente: Elaboración propia

Tabla 18: Estadísticos descriptivos de la correlación de velocidad de viento media diaria normalizada y alarmas no reales medias diarias normalizadas

		Velocidad viento media normalizada	Alarmas normalizadas
Velocidad viento media normalizada	Correlación de Pearson	1	0,063
	Sig. (bilateral)		0,071
	N	823	823
Alarmas normalizadas	Correlación de Pearson	0,063	1
	Sig. (bilateral)	0,071	
	N	823	823

Fuente: Elaboración propia

Se observa que tampoco existe correlación entre estas variables.

III.2.2.1.2.3 Correlación alarmas no reales con velocidad de viento máxima diaria

Para la correlación de las alarmas no reales con la velocidad del viento máxima diaria, se utilizó un coeficiente de normalización $\alpha = 0,4$; con el cual se obtenía la siguiente correlación.

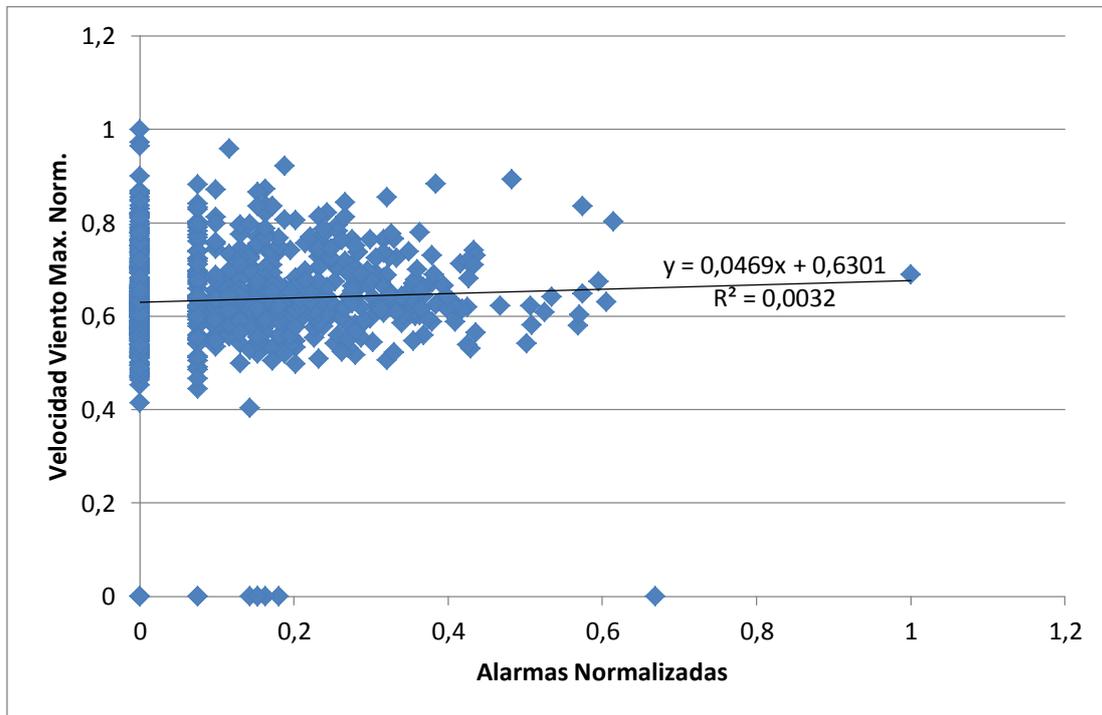


Figura 82: Velocidad del viento máxima diaria normalizada frente a alarmas no reales medias diarias normalizadas

Fuente: Elaboración propia

Tabla 19: Estadísticos descriptivos de la correlación de velocidad de viento máxima diaria normalizada y alarmas no reales medias diarias normalizadas

		Velocidad viento máxima normalizada	Alarmas normalizadas
Velocidad viento máxima normalizada	Correlación de Pearson	1	0,056
	Sig. (bilateral)		0,107
	N	823	823
Alarmas normalizadas	Correlación de Pearson	0,056	1
	Sig. (bilateral)	0,107	
	N	823	823

Fuente: Elaboración propia

Se observa que tampoco existe correlación entre estas variables.

III.2.2.1.2.4 Correlación alarmas no reales con humedad relativa media diaria

Para la correlación de las alarmas no reales con la humedad relativa media diaria, se utilizó un coeficiente de normalización $\alpha = 0,8$; con el cual se obtenía la siguiente correlación.

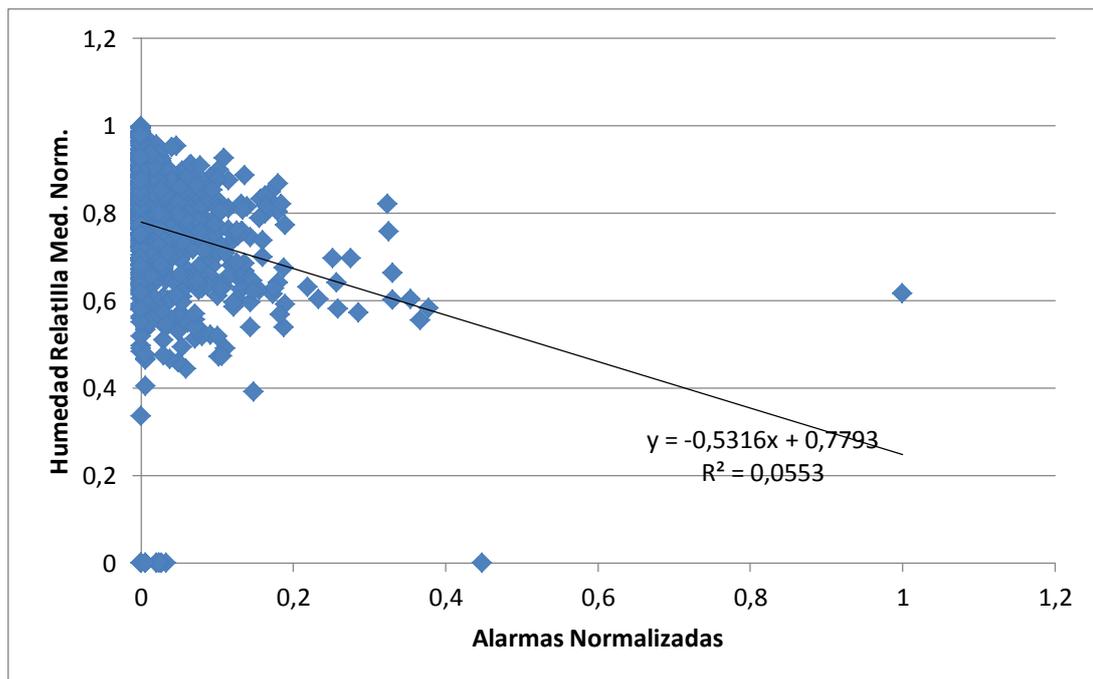


Figura 83: Humedad relativa media diaria normalizada frente a alarmas no reales medias diarias normalizadas

Fuente: Elaboración propia

Tabla 20: Estadísticos descriptivos de la correlación de humedad relativa media diaria normalizada y alarmas no reales medias diarias normalizadas

		Humedad relativa media normalizada	Alarmas normalizadas
Humedad relativa media normalizada	Correlación de Pearson	1	-0,235*
	Sig. (bilateral)		0,000
	N	823	823
Alarmas normalizadas	Correlación de Pearson	-0,235	1
	Sig. (bilateral)	0,000	
	N	823	823

*. La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral).

Fuente: Elaboración propia

En este caso sí que existe una correlación negativa entre ambas variables, lo cual implica que a menos humedad relativa mayor es el número de alarmas no reales que produce el sistema. Una vez detectada esta correlación, se procedió a estudiar si ésta no sólo se daba entre la humedad relativa media y las alarmas no reales, sino que también se daba correlacionándola con los sucesos no reales. Así pues, se procedió a normalizar ambas variables utilizando un coeficiente $\alpha = 0,8$, obteniendo los siguientes resultados.

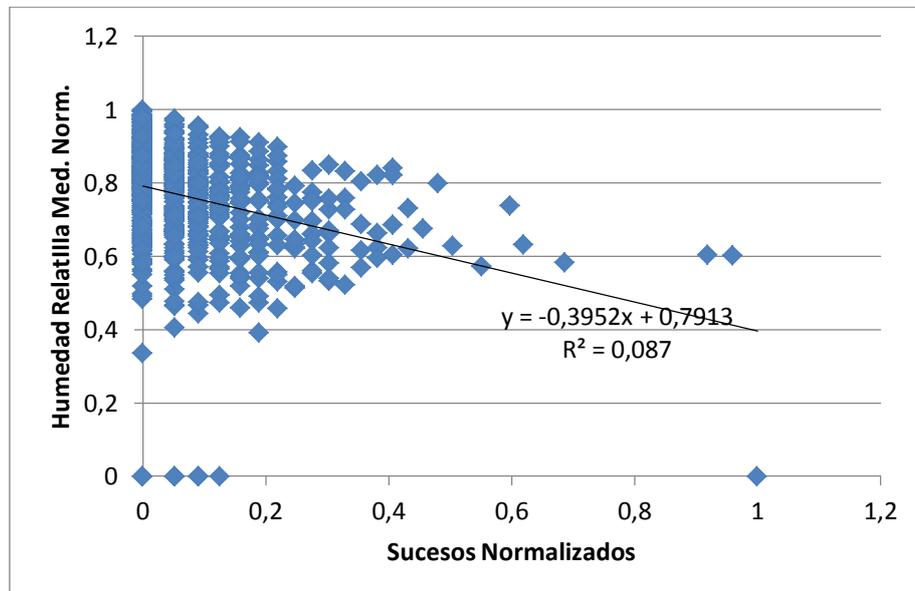


Figura 84: Humedad relativa media diaria normalizada frente a sucesos no reales

Fuente: Elaboración propia

Tabla 21: Estadísticos descriptivos de la correlación de humedad relativa media diaria normalizada y sucesos no reales medios diarios normalizados

		Humedad relativa media normalizada	Sucesos normalizados
Humedad relativa media normalizada	Correlación de Pearson	1	-0,295*
	Sig. (bilateral)		0,000
	N	823	823
Sucesos normalizados	Correlación de Pearson	-0,295	1
	Sig. (bilateral)	0,000	
	N	823	823
*. La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral).			

Fuente: Elaboración propia

Como cabía esperar, dada la correlación existente entre alarmas no reales y humedad relativa media, también existe correlación entre esta última y el número de sucesos no reales diario; dando un valor más alto aún que en la correlación anterior. Esto pone de manifiesto la influencia que esta variable meteorológica tiene sobre el sistema.

Pese a que esta correlación era de esperar, debido a la desviación que la humedad del aire hace en la radiación infrarroja que detectan las cámaras; debe de remarcarse con especial importancia esta correlación negativa; ya que a una menor humedad relativa se ha demostrado que la probabilidad de incendio es mayor; por tanto, si el número de alarmas no reales tiende a aumentar cuando la humedad relativa disminuye, implica que la eficiencia del sistema disminuye cuando aumenta el riesgo de incendio, con el peligro que esto conlleva.

III.2.2.1.2.5 Correlación alarmas no reales con radiación media diaria

Para la correlación de las alarmas no reales con la radiación media diaria se utilizó un coeficiente de normalización $\alpha=0,4$; con el cual se obtenía la siguiente correlación.

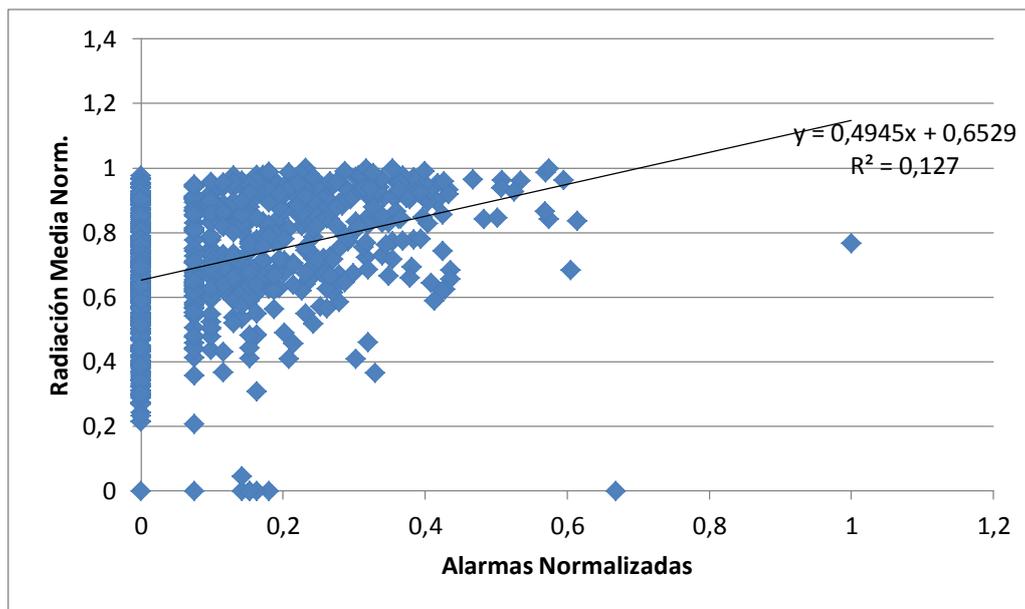


Figura 85: Radiación media diaria normalizada frente a alarmas no reales medias diarias normalizadas

Fuente: Elaboración propia

Tabla 22: Estadísticos descriptivos de la correlación de radiación media diaria normalizada y alarmas no reales medias diarias normalizadas

		Radiación Media Normalizada	Alarmas Normalizadas
Radiación Media Normalizada	Correlación de Pearson	1	0,357*
	Sig. (bilateral)		0,000
	N	823	823
Alarmas Normalizadas	Correlación de Pearson	0,357	1
	Sig. (bilateral)	0,000	
	N	823	823
*. La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral).			

Fuente: Elaboración propia

Una vez más se observa correlación entre ambas variables, en este caso es una correlación positiva, por lo que a mayor radiación mayor es el número de alarmas no reales.

Por otro lado, también se han analizado otras variables que están íntimamente relacionadas con la radiación, como son la precipitación y la evapotranspiración; como era de

esperar, ambas variables tienen correlación significativa con el número de alarmas no reales, así la precipitación tiene correlación negativa, pues a mayor precipitación menor radiación y en consecuencia menor número de alarmas no reales; mientras que la evapotranspiración tiene correlación positiva, pues a más evapotranspiración mayor radiación y, en consecuencia, mayor número de alarmas no reales. El análisis de estas dos variables, y el de los sucesos no reales con la radiación, pese a haberse realizado, no se ha incluido en el texto a fin de no hacer redundante el análisis.

III.2.2.2 Análisis de las alarmas y sucesos reales

Una vez analizadas las alarmas y sucesos no reales, es preciso analizar cómo ha reaccionado el sistema ante los incendios que se han registrado durante su periodo de funcionamiento.

III.2.2.2.1 Distribución de incendios y de alarmas y sucesos reales

En el Anejo 1 se encuentran detallados todos los datos de los incendios producidos durante el periodo que abarca el caso de estudio, tanto el periodo referido a la red neuronal, como el referido al sistema de detección de incendios mediante cámaras infrarrojas. En dicho anejo se aprecia que la ubicación de los incendios aportada en los partes, tanto de la guardería forestal como de bomberos, es descriptiva. Por ello, para poder analizar la eficiencia del sistema frente a dichos incendios éstos se han numerado por orden cronológico, obteniéndose la siguiente tabla:

Tabla 23: Incendios producidos durante el periodo de estudio del sistema de cámaras infrarrojas

Nº	FECHA	Hora Detección tradicional	Localización	Dispositivo de Detección	Fecha y Hora Detección Sistema
1	01/03/2008	19:30	Palmaret (carretera del palmar) cuadrante 34-26	G26	01/03/2008 18:24
2	06/03/2008	18:06	Mallada Larga	G10	06/03/2008 18:38
3	15/03/2008	20:05	Frente Gola Perellonet, al final de la calle Cabrestante	G26	15/03/2008 20:00
4	21/03/2008	10:10	CV-500 km 7,7 frente urbanización Voramar	NO DETECTADO	
5	27/05/2008	12:42	Gaviotas, gola del perellonet	NO DETECTADO	
6	28/06/2008	21:08	Junto Sidi Saler	NO DETECTADO	
7	21/08/2008	9:20	Frente Camping Valencia (crt. Nazaret-oliva)	NO DETECTADO	
8	03/09/2008	17:44	C/Montañares, junto rte Marrasquino	NO DETECTADO	
9	08/09/2008	21:13	Tancat del Recatí, a 50 m del motor "Tavio"	NO DETECTADO	
10	15/09/2008	12:43	Antigua fábrica Plexi	NO DETECTADO	
11	10/03/2009	15	Linde de la Acequia de Malta con el "tancat de les rates"	NO DETECTADO	
12	11/03/2009	--	Puente de Rojas, en la parte del tancat del Recatí	NO DETECTADO	
13	05/06/2009	17:30	km 1 de Autovia dirección Valencia margen derecha	NO DETECTADO	
14	28/06/2009	12:45	Aparcamiento sur junto al colegio sebastian burgos	NO DETECTADO	
15	05/08/2009	13:45	CV-500 13,5	NO DETECTADO	
16	05/12/2009	17	Acceso a la Creu en su margen izquierda	G4	05/12/2009 15:49

Fuente: Elaboración propia

A su vez, se ha localizado en el mapa la ubicación aproximada de estos incendios, así como también se han ubicado las alarmas dadas por el sistema que fueron capaces de detectar dichos incendios.

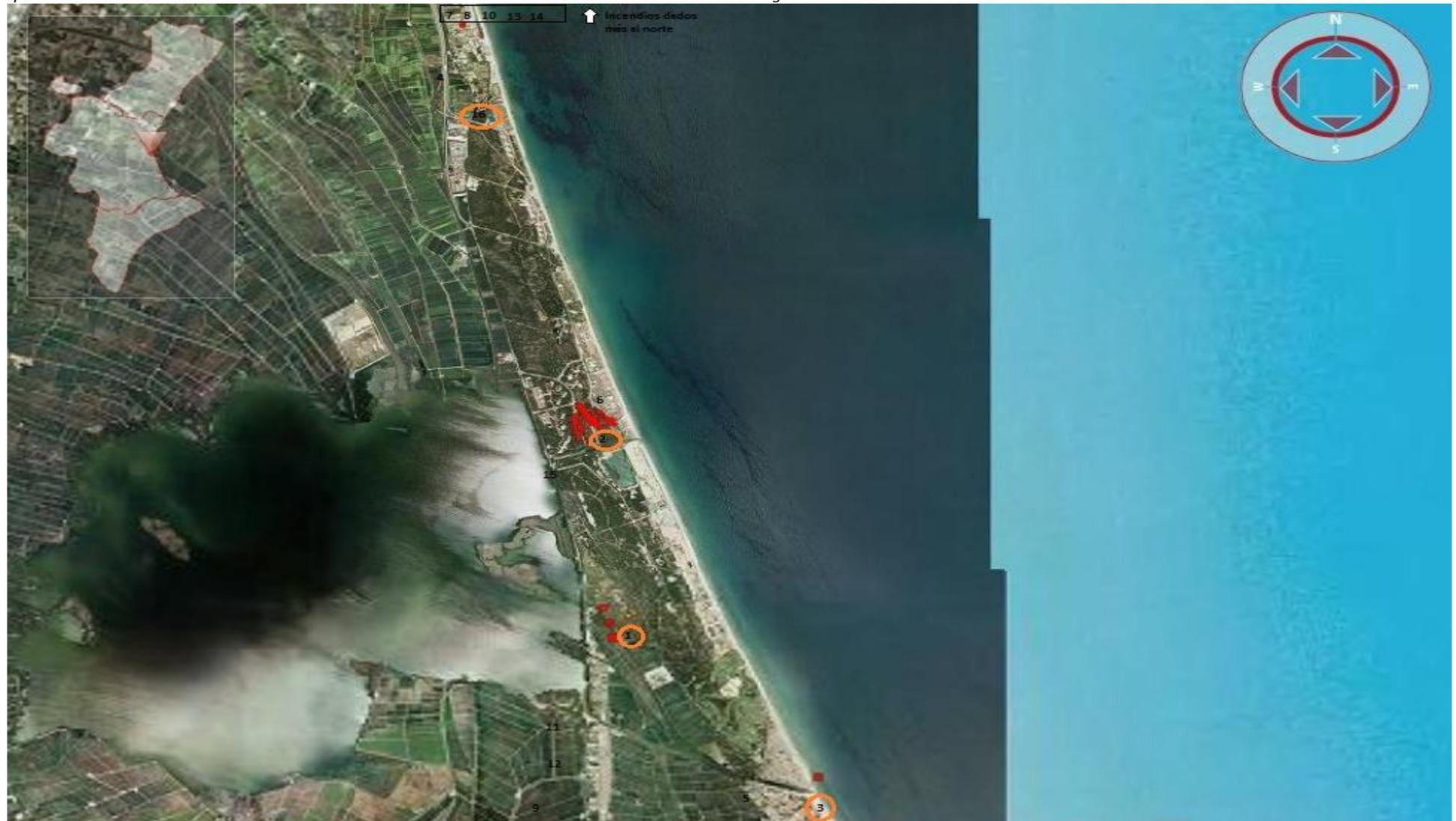


Figura 86: Distribución espacial de incendios y alarmas reales

Fuente: Elaboración propia

En la imagen se aprecia como de los 16 incendios ocurridos en la Devesa durante el periodo Noviembre 2007-Enero 2010, 5 de ellos (los que no aparecen en la imagen, numerados como 7, 8, 10, 13 y 14) se produjeron al norte del Tancat de la Creu, mientras que tres de ellos estaban al sur de la Gola del Perellonet y al oeste de la CV-500 (los numerados como 9, 11 y 12). Ninguno de estos ocho incendios fue detectado por el sistema, debido a la dificultad que implica detectar sucesos lejanos en un territorio tan llano como es la Devesa, en el cual se crea una línea de horizonte que dificulta de detección de estos sucesos.

Por otro lado, de los siete incendios sucedidos entre la Gola del Perellonet y el Tancat de la Creu, es decir, en la zona forestal de la Devesa, cuatro fueron detectados por el sistema (los numerados como 1, 2, 3 y 16, marcados con un círculo en la figura anterior) mientras que el resto no se detectaron, cabe analizar el porqué de la no detección de estos incendios.

Es resaltable la peculiaridad que dio el sistema a la hora de detectar el incendio nº 16; éste se dio en el *Tancat de la Creu*, sin embargo el sistema al detectarlo lo posicionó más al norte, en unas coordenadas erróneas, debido precisamente a la falta de precisión que tiene el sistema en aquellos sucesos que se dan lejos de la ubicación de las cámaras.

Finalmente, cabría destacar las diferencias que hay entre la hora de detección tradicional y la hora de detección del sistema. En los casos de los incendios nº 1 y 16, la detección tradicional, es decir el aviso que se da a la guardería forestal, difiere mucho en el tiempo de la del sistema de infrarrojos; esto es debido a que, al ser pequeños conatos de incendios, a la guardería no se le dio aviso por parte de bomberos hasta que éstos no regresaron al parque. Motivo frecuente de queja por parte de la guardería forestal, que se reflejaba en sus propios partes. En el caso del nº 3, a la guardería forestal no se le avisó hasta que se confirmó por parte de bomberos que la alarma dada por el sistema sí que correspondía con un incendio. Por último, en el caso del incendio nº 2, el sistema de detección por infrarrojos detectó el fuego mucho después de que los vecinos avisaran a emergencias, motivo por el cual desde bomberos avisaron a la guardería forestal conforme movilizaron a sus medios.

III.2.2.2.2 Características de incendios y de alarmas y sucesos reales

Los incendios ocurridos en el periodo de estudio del sistema de detección de incendios mediante infrarrojos, en función de la superficie quemada, se clasifican a continuación:

Tabla 24: Clasificación de los incendios producidos durante el periodo de estudio del sistema de detección de incendios mediante infrarrojos en función de la superficie quemada

	TOTAL	SUP> 10.000 m ²	10.000 > SUP > 5.000 m ²	5.000 > SUP > 1.000 m ²	1.000 > SUP > 500 m ²	500 > SUP > 100 m ²	100 m ² > SUP > 50 m ²	50 m ² < SUP
INCENDIOS	16	1	1	1	2	3	4	4
DETECTADOS	4	1	0	0	0	1	2	0
PORCENTAJE	25%	100%	0%	0%	0%	33,33%	50%	0%

Fuente: Elaboración propia

Mientras que si los clasificamos según el tipo de vegetación quemada obtenemos los siguientes resultados.

Tabla 25: Clasificación de los Incendios producidos durante el periodo de estudio en función de la vegetación quemada

	Cañas	Arbusto	Pinada y arbusto
INCENDIOS	6	8	2
DETECTADOS	1	1	2
PORCENTAJE	16,66 %	12,5%	100%

Fuente: Elaboración propia

Un primer análisis descubre que los incendios que superan el umbral que marca la cobertura vegetal, es decir aquellos en los que se ve afectada la pinada, son detectados, mientras que sólo un bajo porcentaje de aquellos que sólo afectan a cañas o arbusto son detectados. Respecto a la superficie quemada, vemos que los incendios superiores a 1 ha han sido detectados, mientras que ninguno de los inferiores a 50 m² ha sido detectado. De los incendios intermedios, muchos han quedado fuera del área fiable de detección del sistema, por lo que cabe realizar un análisis más detallado.

Si nos centramos en aquellos incendios dados dentro de los lindes del Tancat de la Creu y de la Gola del Perellonet, obtenemos los siguientes resultados.

Tabla 26: Clasificación de los incendios producidos durante el periodo de estudio dentro de la zona forestal de la Devesa en función de la superficie quemada

	TOTAL	SUP> 10.000 m2	10.000 > SUP >5.000 m2	5.000 > SUP > 1.000 m2	1.000 > SUP > 500 m2	500 > SUP > 100 m2	100 > SUP> 50 m2	50 m2< SUP
INCENDIOS	7	1	0	0	0	1	3	2
DETECTADOS	4	1	0	0	0	1	2	0
PORCENTAJE	57,14%	100%	--	--	--	100%	66,6%	0

Fuente: Elaboración propia

Por lo que respecta a vegetación quemada obtenemos los siguientes resultados.

Tabla 27: Clasificación de los incendios producidos durante el periodo de estudio dentro de la zona forestal de la Devesa en función de la vegetación quemada

	Cañas	Arbusto	Pinada y arbusto
INCENDIOS	2	3	2
DETECTADOS	1	1	2
PORCENTAJE	50%	33,33%	100%

Fuente: Elaboración propia

Así pues, observamos que de los incendios dados dentro de la zona forestal de la Devesa, todos aquellos que superaron los 100 m² fueron detectados, y más de la mitad de los que superaron los 50 m² también lo fueron. Sólo se dejaron por detectar aquellos pequeños conatos que no superaron los 50 m² de incendio.

Por el lado de la vegetación, se detectaron todos los incendios que superaron la barrera de la cubierta vegetal y en los que se vio afectada la pinada, mientras que aquellos en los que sólo se vio afectado el arbusto o el cañar la eficiencia bajó al 33 y al 50% respectivamente; si bien cabe destacar que el sistema detectó aquellos conatos de incendio en los que la superficie de arbusto quemado superó los 100 m², y sólo dejó por detectar aquellos conatos de incendio de arbusto cuya superficie quemada no superó los 100 m².

Finalmente, si nos centramos en el número de alarmas reales que describieron cada suceso real detectado de incendio, obtenemos los siguientes resultados:

Tabla 28: Número de alarmas reales que definió cada suceso real

SUPERFICIE QUEMADA (m ²)	Nº ALARMAS REALES	TIPO VEGETACIÓN AFECTADA
50	25	Cañas
100	12	Pinada y arbusto
450	6	Arbusto
48583	761	Pinada y arbusto

Fuente: Elaboración propia

Vemos que no existe una relación clara entre la superficie quemada en cada incendio y el número de alarmas, salvo en el caso excepcional del mayor incendio, dado en marzo de 2008.

Así pues, se vuelve a poner de manifiesto lo que ya se dijo en el análisis de la frecuencia de alarmas no reales por cada suceso no real. Observamos que el número mínimo de alarmas reales que ha definido un suceso real ha sido de seis alarmas, por lo que la observación dada, de poder eliminar aquellos sucesos compuestos por una o dos alarmas para aumentar la eficiencia del sistema, resulta ahora aún más significativa, pues se demuestra que aplicando ese descarte, no se dejarían de detectar sucesos reales.

Finalmente, si se observa el tipo de alarma inicial que dio el sistema en aquellos fuegos que se detectó, vemos:

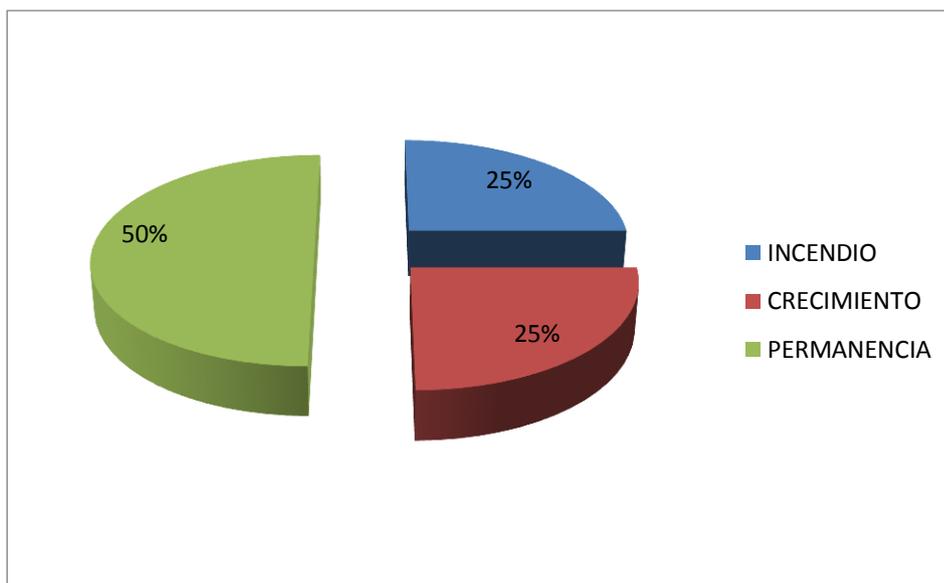


Figura 87: Porcentaje de tipo de alarma inicial de incendio

Fuente: Elaboración propia

Se observa que la mitad de las alarmas iniciales correspondieron a permanencia, que es supuestamente el tipo de alarma que se debe dar en los instantes iniciales del incendio, pero la otra mitad se reparte a partes iguales entre incendio y crecimiento. Sin embargo, si se estudia el total de tipos de alarmas que se dieron durante los incendios, el porcentaje que obtenemos es el siguiente:

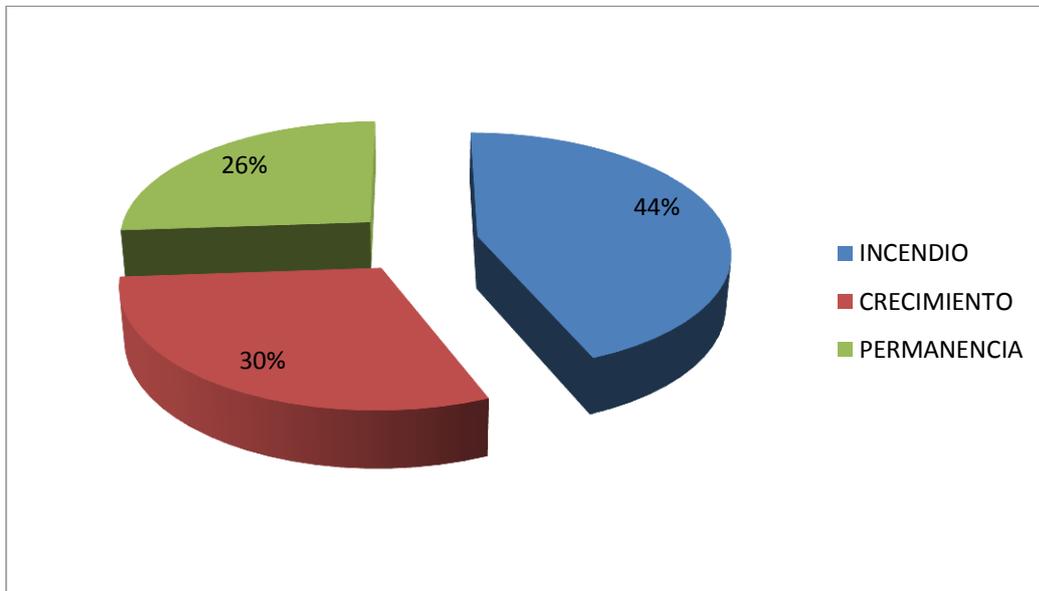


Figura 88: Porcentaje de tipo de alarma total de incendio

Fuente: Elaboración propia

Se observa que durante los incendios predomina el tipo de alarma correspondiente a incendio, sin embargo más de la mitad de las alarmas corresponden al tipo permanencia o crecimiento.

De estos dos últimos gráficos, se deduce que el método que utiliza el sistema para clasificar las alarmas, según si son fuego desarrollado, en crecimiento o en fase inicial, no está funcionando de forma adecuada, pues en los instantes iniciales de los incendios, pese a predominar el caso de permanencia, también se han dado los otros casos. Igual ocurre una vez el fuego se está desarrollando, en este caso, pese a que también predomina el tipo de alarma correspondiente a incendio, también se dan los otros tipos de alarma.

Capítulo IV
Aportaciones al caso de estudio



Capítulo IV: Aportaciones al caso de estudio

Hasta el momento en la presente Tesis se ha realizado, en la zona de la Devesa de la Albufera de Valencia, un estudio detallado tanto de los incendios ocurridos en la misma, como de las alarmas que el sistema de detección de incendios mediante infrarrojos allí situado produjo; todo ello se ha expuesto en el Capítulo III denominado “Caso de Estudio”.

Para el estudio de los incendios acaecidos en la zona se han recopilado datos de incendio durante el periodo 1968-2012. De los cuales 108 ocurrieron en el periodo del caso de estudio, esto es 1998-2008. A su vez, se han recogido durante ese mismo periodo de tiempo más de 5.256.000 datos meteorológicos. Con estos datos recopilados, se han realizado dos tipos distintos de redes neuronales probabilísticas, a fin de analizar la distribución de probabilidad de incendio a lo largo del año. Para la realización de estas dos redes se utilizaron, por un lado, los datos tanto de los conatos como de los incendios de más de una hectárea producidos en la zona, de los cuales se ha obtenido como resultado que las variables meteorológicas no tienen influencia en la existencia de conatos de incendio, revelándose los factores sociales como los predominantes a la hora de provocar incendios en la zona. Por otro lado, se ha realizado una red neuronal únicamente con los datos de incendios de más de una hectárea, de la cual se ha obtenido que las variables meteorológicas sí tienen influencia en este tipo de incendios. Sin embargo, al no ser el ajuste de esta segunda red tan bueno como el de la primera, se ha analizado la bondad de la misma comparando sus resultados de niveles de riesgo con los datos de riesgo de incendio de la AEMET, los cuales se han recopilado durante el periodo disponible, esto es, 2005-2012; dando como resultado que la red realizada en la presente Tesis ofrece unos resultados de niveles de riesgo de incendio en la zona de la Devesa más ajustado que el de los niveles ofrecidos por la AEMET.

Junto con el análisis de los incendios mediante las redes neuronales descritas, en el capítulo anterior se explica cómo estos incendios han sido detectados por el sistema de infrarrojos instalado en la Devesa, así como también se ha estudiado la cantidad de alarmas no reales creadas por dicho sistema. Para ello se han recopilado las alarmas generadas por el sistema durante el periodo 2007-2010, las cuales ascendieron a un total de 11.328 alarmas, de las cuales 10.519 eran alarmas no reales, por lo que tan solo 809 alarmas se correspondieron con incendios reales. A su vez, durante este periodo de tiempo han sido recogidos los datos meteorológicos de la red SIAR ubicada en Picassent, y se correlacionaron estos datos con las alarmas no reales, obteniéndose que la humedad relativa tiene correlación negativa con las

alarmas no reales, mientras que la radiación tiene correlación positiva. A su vez, se ha detectado que las alarmas no reales se agrupaban entorno a lugares cuyo terreno tiene un alto valor de albedo, y que las cámaras que mayores falsos positivos han producido han sido las orientadas hacia el Este y el Sur. Respecto a las alarmas reales, se ha obtenido que el sistema no es capaz de detectar incendios menores de 50 m², ni aquellos cuyo origen está muy alejado de la ubicación de las cámaras, finalmente se ha obtenido que todo suceso real de incendio ha sido localizado como mínimo por seis alarmas.

Con todo este estudio realizado en el Capítulo III, se planteaba la necesidad de realizar una serie de optimizaciones en el sistema de detección de incendios mediante infrarrojos, a fin de poder por un lado disminuir el número total de falsos positivos, y por otro lado clasificar las alarmas generadas por el mismo bajo un criterio de niveles de riesgo. Esta optimización requería por un lado de una inversión para poder realizar las mejoras técnicas necesarias, y por otro lado del diseño de unos niveles de clasificación de las alarmas bajo los criterios de riesgos establecidos a través de las redes neuronales anteriormente explicadas.

Para poder aplicar las mejoras técnicas necesarias, se aprovecharon unas líneas de inversión en proyectos públicos lanzadas desde el gobierno central en el año 2009. Con esta financiación se desarrolló un nuevo proyecto para la detección de incendios mediante cámaras termográficas, inspirado en el sistema ya existente, pero con un aumento del número de cámaras de vigilancia, nuevos servidores y equipos de control, un nuevo sistema de transmisión de datos y un nuevo software encargado tanto de detectar las alarmas, como de visualizarlas en un SIG.

La descripción y análisis de este nuevo sistema se realiza en la primera parte del presente capítulo IV, llamado "Mejoras Técnicas", entre las cuales destaca el aumento del número de cámaras de vigilancia, posicionando un total de 5 cámaras extras fijas, las cuales se han distribuido bajo los criterios de minimizar la influencia que las variables meteorológicas pudieran tener sobre ellas ya que, por un lado al ser fijas es mucho más sencillo delimitar filtros para aquellas zonas de interfaz o zonas proclives a crear falsas alarmas; por otro lado, están menos expuestas a las variables meteorológicas como son el viento y la radiación, ya que el viento no tiene posibilidad de mover sus rodamientos, mientras que al enfocar constantemente el mismo encuadre es más fácil gestionar los controles de brillo y contraste que delimitan las alarmas y, en consecuencia, que hacen que tenga influencia la radiación; a su vez, es posible orientarlas evitando las orientaciones estrictas Este y Sur inclinando sus

orientaciones, y evitando así la incidencia de alarmas no reales que implican éstas. Finalmente, al ser equipos más modernos, tienen mejores prestaciones ante factores que influyen en todos los equipos de IR como son la humedad y, de nuevo, la radiación.

Sin embargo, como se verá más adelante, estas mejoras técnicas por sí solas no son capaces de erradicar la incidencia de falsos positivos provocados por reflejos de radiación en masas de agua, en zonas de alto albedo, o provocados por cuerpos calientes pasando por zonas vigiladas; debido a lo cual el nuevo sistema, aplicando únicamente las mejoras técnicas, ha provocado más de 4000 alarmas no reales en un periodo de 14 meses. Es por ello que este nuevo sistema, como se ha comentado anteriormente, no sólo requiere de inversión en mejoras técnicas, sino que también requiere de la aplicación de las aportaciones metodológicas extraídas del estudio realizado en el Capítulo III. Aplicando estas aportaciones se es capaz de reducir ampliamente el número de alarmas no reales sin perder ningún suceso real; estas aportaciones se presentan en la segunda parte del presente capítulo IV bajo el nombre de “Aportaciones metodológicas”.

IV.1. Mejoras técnicas al caso de estudio

Bajo el nombre de mejoras técnicas se han englobado todas aquellas mejoras incorporadas al nuevo proyecto de detección de incendios, las cuales están orientadas en su totalidad a incorporar un hardware y software más modernos y de mejores prestaciones. El conjunto de estas mejoras viene resumido en el apartado siguiente, mostrándose los resultados de estas mejoras en el apartado llamado “Resultados mejoras técnicas”.

IV.1.1.- Descripción de las mejoras técnicas

IV.1.1.1.- Distribución de los medios de visión infrarroja

IV.1.1.1.1 Gola 4

La mejora realizada en esta gola consiste en la instalación de 2 nuevas cámaras de infrarrojos, fijas y orientadas al norte. Además de mantener la cámara móvil ya existente. Reduciéndose el tiempo máximo para cubrir una zona no vigilada a 120 segundos. Esquematizándose en la siguiente figura.

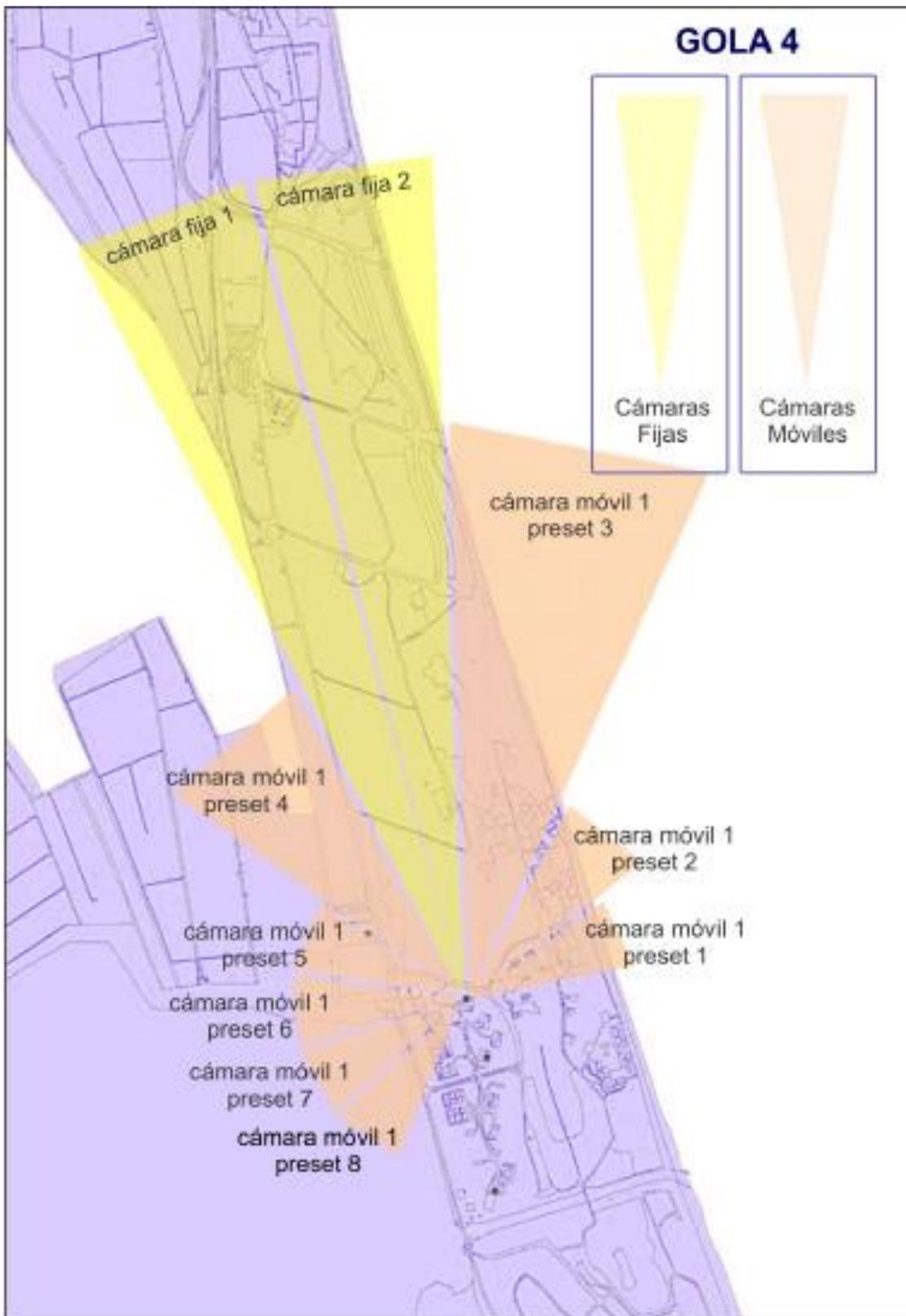


Figura 89: Detalle de las cámaras infrarrojas de Gola 4 tras las mejoras técnicas

Fuente: Servicio de Bomberos Ayuntamiento de Valencia

IV.1.1.1.2 Gola 10

En este emplazamiento se reaprovechó la cámara móvil existente, reduciéndose las 5 preposiciones de encuadre de la cámara, por lo que el tiempo máximo para cubrir una zona no cubierta se redujo a 75 segundos. Sin embargo, no se añadió ninguna otra cámara infrarroja en el emplazamiento, por lo que la topología de este emplazamiento se quedó idéntica al sistema anterior.

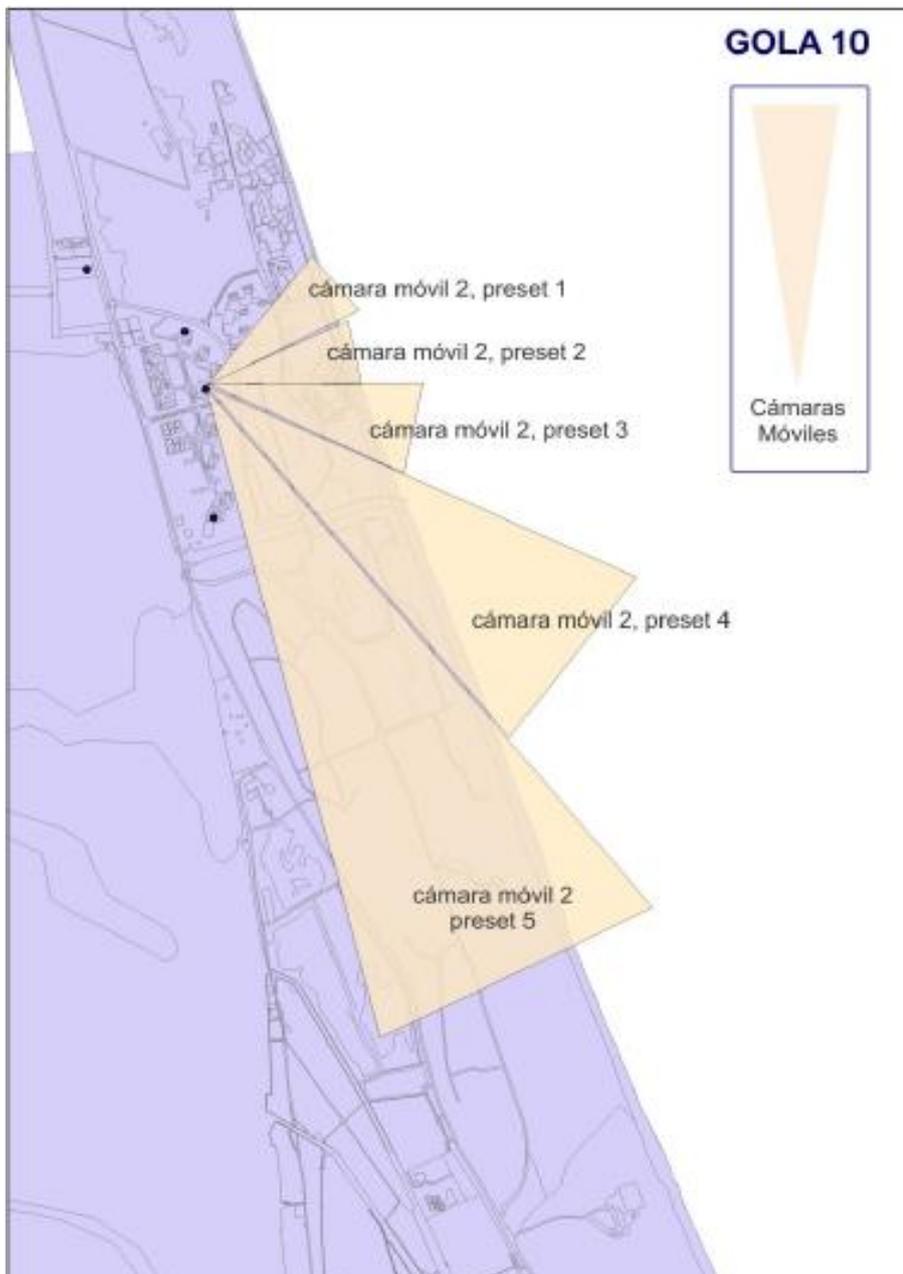


Figura 90: Detalle de las cámaras infrarrojas de Gola 10 tras las mejoras técnicas

Fuente: Servicio de Bomberos Ayuntamiento de Valencia

IV.1.1.1.3 Gola 26

En este emplazamiento se instalaron 3 nuevas cámaras fijas de infrarrojos, vigilando la zona sur, además de reaprovechar la cámara móvil existente, con lo que se redujo el tiempo máximo que pasaba una zona sin vigilar a 90 segundos.

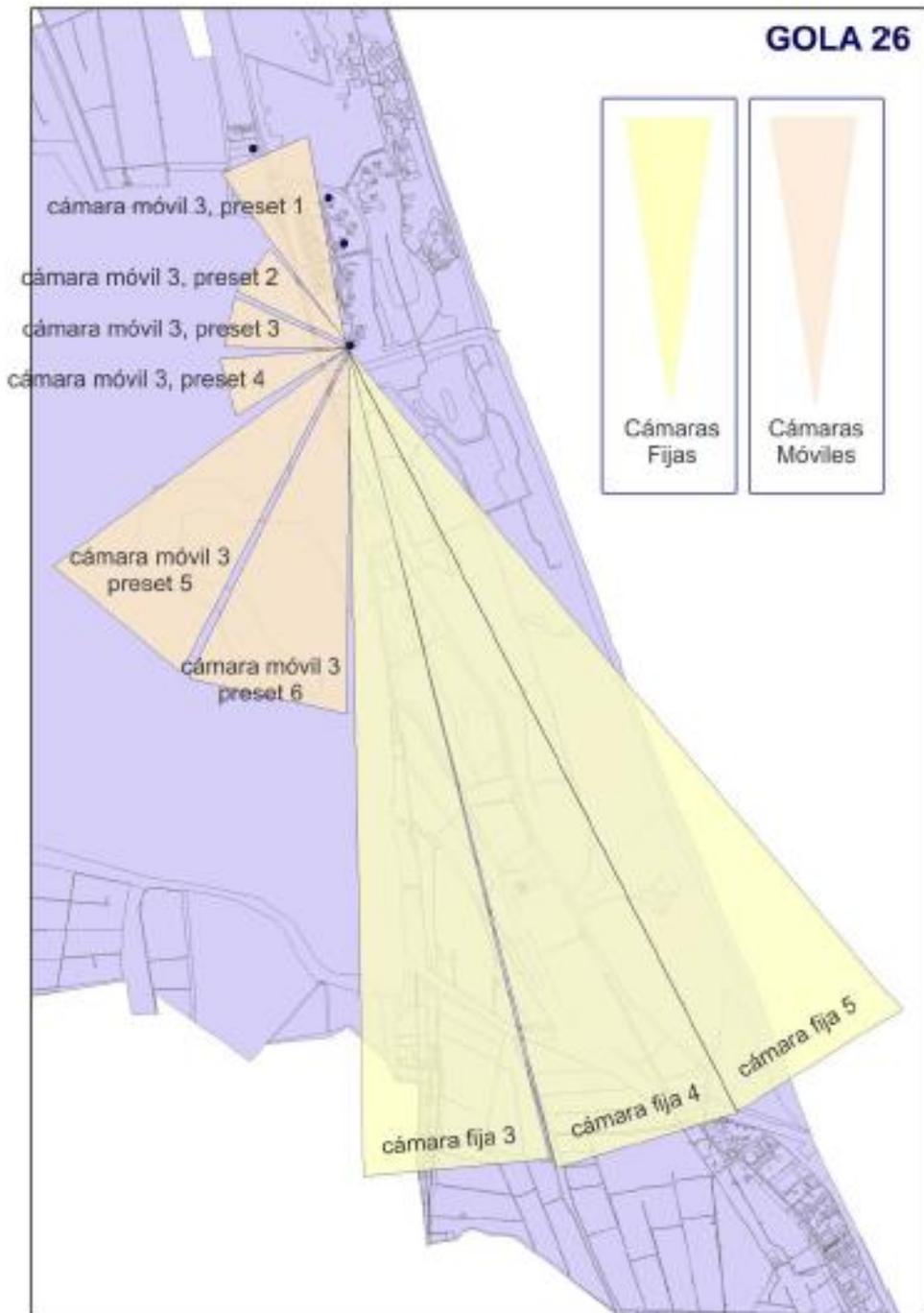


Figura 91: Detalle de las cámaras infrarrojas de Gola 26 tras las mejoras técnicas

Fuente: Servicio de Bomberos Ayuntamiento de Valencia

IV.1.1.2.- Distribución de los medios de visión convencional

El objeto de estos medios es de servir de apoyo a la toma de decisiones frente a las alarmas de incendio con dos finalidades: primera, verificar de forma visual la veracidad o no de la alarma, segunda, supervisión y guiado de los medios de extinción en caso de actuación.

Las mejoras técnicas contempladas aprovecharon las tres cámaras existentes, es decir las tres cámaras *domo* y los tres videograbadores situados en Gola 4, Gola10 y Gola26. Además de reforzar el sistema con la colocación de 3 nuevas cámaras de altas prestaciones junto a las cámaras IR existentes y montadas sobre el mismo posicionador.

La inclusión de estas nuevas cámaras permite al operador dirigir tanto cámara IR como la convencional al mismo tiempo para observar los incidentes a evaluar y de forma automática si así lo indica desde el sistema de información geográfico.

IV.1.1.3.- Sistemas de procesado de imagen térmica y comunicaciones

Se instalaron tres sistemas de procesado de imagen térmica dotados, cada uno, de potencia suficiente para tratar hasta cuatro señales de vídeo simultáneamente. Dotados con procesadores Core 2 Duo, con 4 Gb de RAM. Conectividad Gigabit Ethernet y tarjeta de digitalización de vídeo para cuatro señales a 25 cuadros por segundo así como los puertos de comunicaciones para controlar hasta cuatro cámaras de vídeo térmico.

Se dispuso de un nuevo sistema operativo y el software de análisis y de gestión de alarmas por detección de fuego. Todo el control así como la transmisión de alertas se realiza vía red TCP/IP hasta los centros de control. Configurados para detectar posibles fallos en el servidor principal y, en su caso, trabajar con el redundante.

La comunicación se pasó a realizar mediante un enlace PUNTO-MULTIPUNTO, con 3 unidades remotas, una por cada emplazamiento, que enlazan los mismos con la estación base existente situada en el Parque de Bomberos del Saler de Valencia, en donde se instaló uno de los centros de control del sistema.

El otro centro de control del nuevo sistema se instaló en el Parque Central de Bomberos de Valencia, para la comunicación desde la Devesa con este parque se aprovechó la red Wimax que el Servicio de Bomberos tenía instalada.

IV.1.1.4.- Servidores y centros de control

Se instalaron dos nuevos servidores (uno principal y un segundo para redundancia en caso de fallo o incidencia en el primero). Este servidor central recibe toda la información procedente de los puestos de detección y vigilancia, distribuyéndola a los centros de control.

El servidor recibe las alarmas procedentes de los centros de detección y las almacena en base de datos, siendo posible recuperar tanto los datos como las imágenes que las han producido. También administra los eventos de monitorización del sistema, y distribuye las alarmas a los dos centros de control que se encuentran suscritos al servidor, es decir, al Parque de Bomberos del Saler, y al Parque Central de Bomberos.

En los dichos centros de control fijos se instalaron equipos dotados de microprocesadores Intel Core 2 Duo, 4Gb RAM, 1 Tb Disco duro y tarjeta gráfica de alto rendimiento, GeForce GT220 1GB.

Los centros de control pueden verificar los datos y las imágenes de las alarmas que vienen georeferenciadas. Los centros de control tienen además las siguientes funcionalidades:

- Motor GIS
- Localización geográfica de las alarmas, así como de los medios dotados de GPS
- Aviso, acústico, visual o combinado de las alarmas
- Visualización de las imágenes que han generado la alarma y recepción del vídeo en tiempo real de cualquiera de las fuentes de vídeo disponibles

IV.1.2. Resultados de las mejoras técnicas

El proyecto del nuevo sistema de detección de incendios mediante cámaras infrarrojas, cuyas mejoras se han especificado en el apartado anterior, se puso definitivamente en producción a mediados de noviembre de 2010. Desde ese día se han ido recopilando las alarmas que producía, a fin de poder compararlo con el sistema anterior, y analizar si las mejoras técnicas implantadas eran capaces por sí solas de mejorar la eficiencia del anterior sistema.

Los resultados que se muestran en los siguientes apartados corresponden al periodo de estudio comprendido entre el 17 de noviembre de 2010 (fecha en que el nuevo sistema

produjo la primera alarma en producción) y el 14 de Enero de 2012; fecha en que se recopiló el total de alarmas del nuevo sistema y se empezó a trabajar con los datos obtenidos.

Este periodo, si bien no abarca un intervalo de tiempo tan amplio como el analizado en el Capítulo III, sí que abarca un periodo de tiempo de más de un año, pudiéndose comparar las medias mensuales de las alarmas generadas por el nuevo sistema con las medias mensuales de las alarmas generadas por el sistema anterior, a fin de comparar los resultados de ambos.

Así pues, durante el periodo analizado del nuevo sistema se han producido un total de 4.394 alarmas, de las cuales tan solo 164 correspondieron con un episodio de fuego real, lo cual conlleva que 4.230 de las alarmas del sistema fueron alarmas no reales.

Las 164 alarmas reales dadas por el sistema se correspondieron al episodio de incendio dado el día 8/8/2011, dicho incendio alcanzó una superficie quemada de más de 1 ha. El resto de incendios ocurridos durante el año que estuvo en funcionamiento el sistema, ninguno de los cuales superó los 250 m² de superficie afectada, no fueron detectados.

IV.1.2.1. Análisis de las alarmas no reales del nuevo sistema

En este apartado no se van a diferenciar entre alarmas no reales y sucesos, ya que se trata únicamente de analizar los resultados dados por el nuevo sistema tras las mejoras técnicas. Con todo, la distribución de las alarmas no reales del nuevo sistema es la que se muestra a continuación:

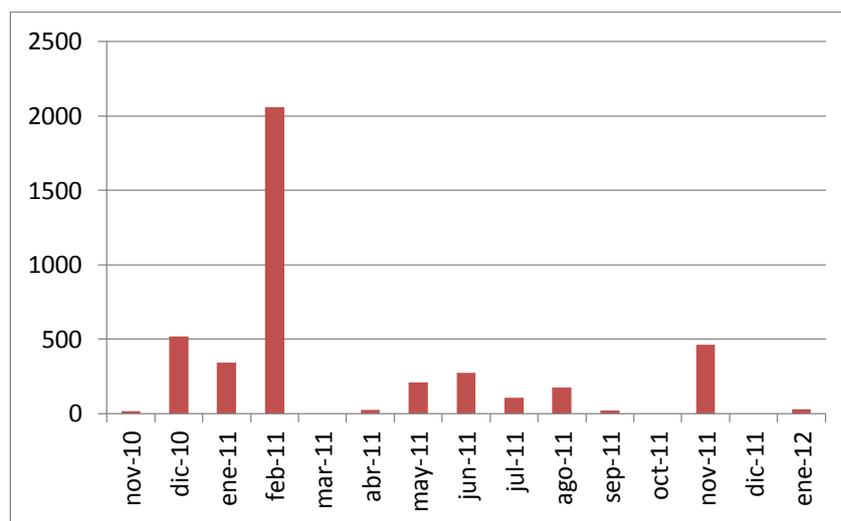


Figura 92: Distribución temporal de alarmas no reales del nuevo sistema

Fuente: Elaboración propia

Se aprecia cómo se vuelven a crear picos de alarmas fuera de la época estival, al igual que en el anterior sistema. Para poder comparar el número de alarmas del nuevo sistema con el anterior, se ha comparado la media mensual de las alarmas generadas por el nuevo sistema, con la media mensual de las alarmas generadas por el sistema anterior, obteniéndose los siguientes resultados.

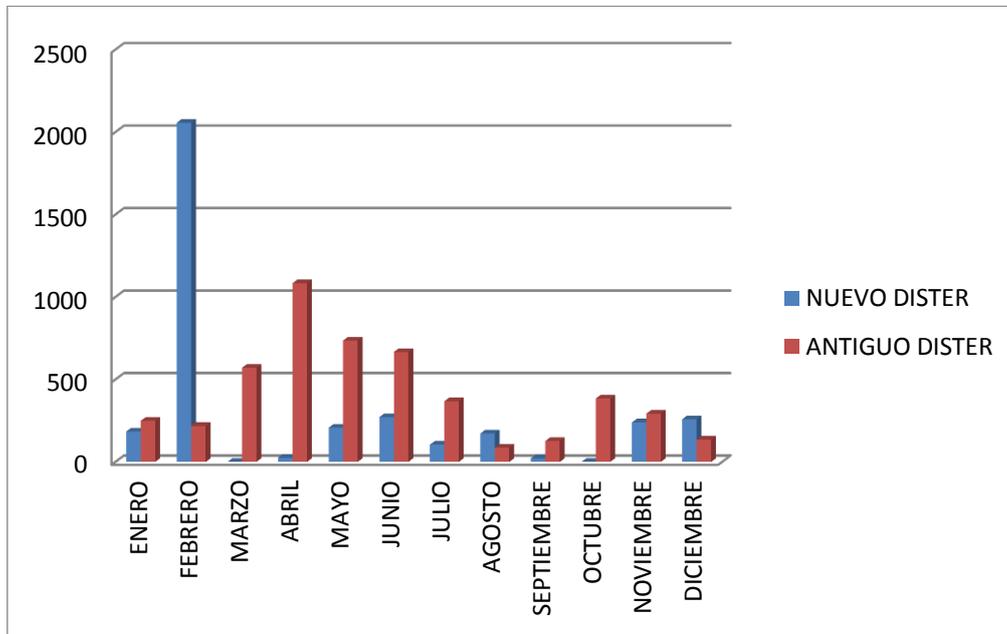


Figura 93: Comparación de las alarmas no reales medias mensuales dadas por ambos sistemas

Fuente: Elaboración propia

Del gráfico se aprecia que, salvo por el pico registrado en el mes de febrero (el cual se analizará más adelante), el resto de meses el nuevo sistema está registrando un número menor de alarmas no reales que las que registraba el sistema anterior, a excepción de los meses de agosto y diciembre, en los cuales pese a que el nuevo sistema registra un número medio de alarmas no reales superior al anterior sistema, este número no es tan alto como para descompensar la reducción del número de alarmas no reales durante el resto del año.

De este análisis se deduce que las mejoras técnicas aplicadas han disminuido el número de alarmas no reales; ya que de una media diaria de más de 13 alarmas, se ha pasado a una de 10, la cual es todavía menor si exceptuamos el anormal mes de febrero; sin embargo siguen siendo demasiadas las alarmas no asociadas a incendios que se generan. Esta elevada cantidad de alarmas no reales es especialmente significativa en los meses de invierno, donde el riesgo de incendio es bajo; lo cual sigue provocando una alta desconfianza por parte del usuario final,

ubicado en el puesto de control, hacia las alarmas que da el sistema; lo cual produce que el usuario tienda a ignorar cualquier tipo de alarma emitida.

IV.1.2.1.1 Distribución geográfica de las alarmas no reales del nuevo sistema

Para determinar la ubicación de las alarmas generadas por el nuevo sistema, y poder compararlas con las que producía el anterior, se posicionaron sobre plano las alarmas generadas, siendo el resultado de ese posicionamiento la siguiente figura:



Figura 94: Distribución geográfica de las alarmas generadas por el nuevo sistema

Fuente: Elaboración propia

De nuevo, se visualiza en la figura anterior que las alarmas no reales vuelven a darse sobre el mismo tipo de zonas:

- *Zonas acuáticas o de cultivo de arroz*, producto del reflejo de la radiación del sol en el agua
- *Zonas de playa*, debido al alto coeficiente de albedo que tiene la arena
- *Zonas de transición entre viales y vegetación*, producto de la presencia de arena sin vegetación en la interfase
- Zona próxima a la Gola del Pujol
- *Zonas forestadas recientemente quemadas*, debido a que la eliminación de la vegetación ha dejado al descubierto la arena

De hecho, si comparamos en paralelo las alarmas que generaron ambos sistemas, vemos cómo se acumulan sobre las mismas áreas:



Figura 95: Comparación de las alarmas no reales generadas por ambos sistemas, a la izquierda las generadas por el antiguo sistema, a la derecha las generadas por el nuevo sistema

Fuente: Elaboración propia

En la figura anterior se aprecian dos zonas de acumulación de alarmas no reales repetidas en ambos sistemas. Se aprecia que el nuevo sistema ha mejorado en la no detección de alarmas en la zona de la Albufera, pero siguen apareciendo alarmas no reales en zonas marítimas y de cultivo de arroz. Además, en el nuevo sistema se aprecian dos líneas de alarmas no reales orientadas hacia el noreste; para profundizar en estas alarmas y averiguar si se correspondían con algún patrón concreto de fallo sistemático, se analizaron las alarmas del nuevo sistema y se posicionaron sobre plano las mismas en función del mes de detección, obteniéndose el siguiente resultado:

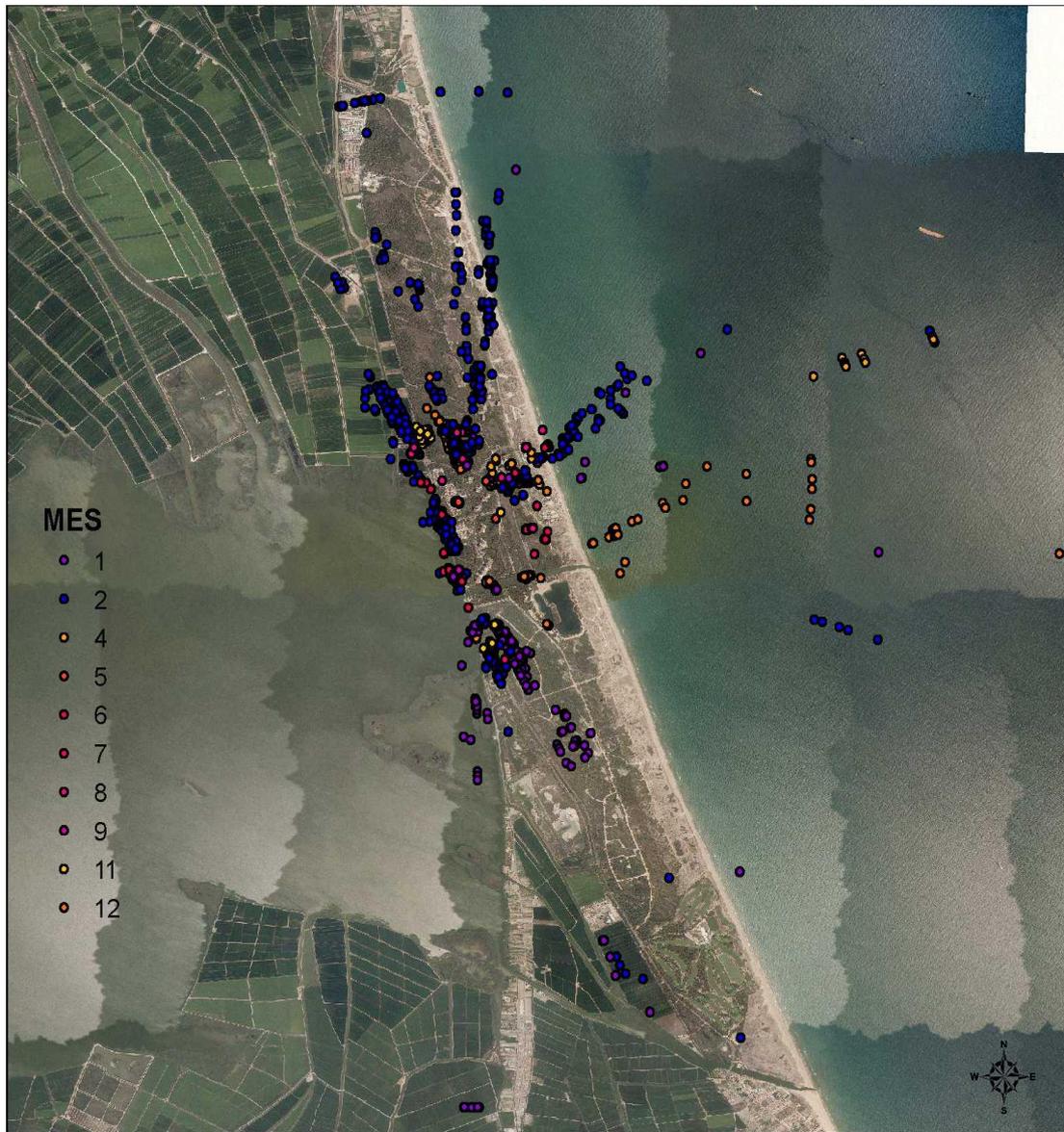


Figura 96: Distribución geográfica mensual de las alarmas del nuevo sistema

Fuente: Elaboración propia

Se aprecia que la mayoría de las alarmas que configuran las líneas anteriormente mencionadas corresponden con el mes de febrero, algo que era de esperar ya que durante este mes se dan más del 48% del total de alarmas, si analizamos en profundidad cómo se distribuyeron estas alarmas no reales durante el mes de febrero obtenemos:



Figura 97: Distribución geográfica de las alarmas del nuevo sistema durante el mes de febrero

Fuente: Elaboración propia

Nuevamente se aprecia que estas líneas se dan durante unas fechas concretas, siendo el día 3 y el 11 de febrero los que mayores alarmas producen en estas líneas, apreciándose pues que esta distribución de alarmas no responde a un patrón sistémico de fallo, sino que se corresponde con fallos puntuales en la detección de alarmas durante unos días concretos.

Del conjunto de resultados analizados hasta el momento sobre el nuevo sistema, se obtiene como resultado que las mejoras técnicas por sí solas son capaces de reducir de inmediato el número de falsos positivos, sin embargo no han sido capaces de eliminar por completo la acumulación de éstos sobre zonas de elevado valor de albedo, dándose las alarmas en estas zonas de forma aleatoria, y sin que exista un patrón bajo el que caracterizarlas.

IV.1.2.1.2. Correlaciones de las variables meteorológicas con las alarmas no reales del nuevo sistema

Una de las mejoras esperadas con la implantación de mejoras técnicas era la eliminación de la correlación existente entre las variables meteorológicas y el número de alarmas no reales, ya que se limitaron las exposiciones más problemáticas de las cámaras y se posicionaron cámaras fijas en lugar de móviles, las cuales son más simples de acotar frente a variaciones de radiación. Para comprobarlo, se correlacionaron las alarmas no reales generadas por el nuevo sistema con las variables meteorológicas que afectaban al sistema anterior, esto es humedad relativa y radiación. El proceso seguido para la correlación de ambas variables fue el mismo que el expuesto en el apartado III.2.2.1.2, siendo en este caso el valor del coeficiente de normalización $\alpha=0,3$.

Con todo, se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 29: Correlación entre alarmas no reales del nuevo sistema y la radiación y humedad

		Radiación	Humedad
Alarmas No Reales	Correlación de Pearson	-0,021	-0,038
	Sig. (bilateral)	0,670	0,436
	N	423	423

Fuente: Elaboración propia

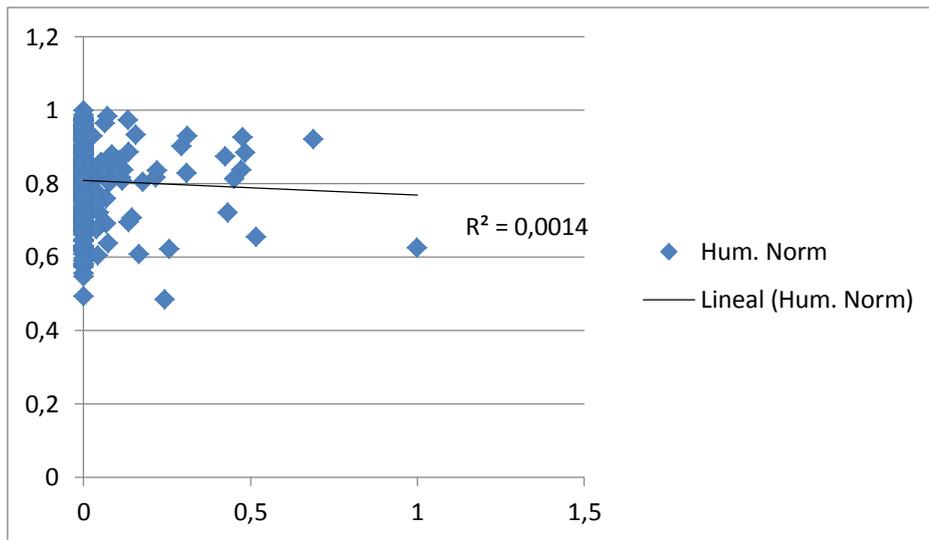


Figura 98: Humedad media diaria normalizada frente a alarmas no reales medias diarias normalizadas del nuevo sistema

Fuente: Elaboración propia

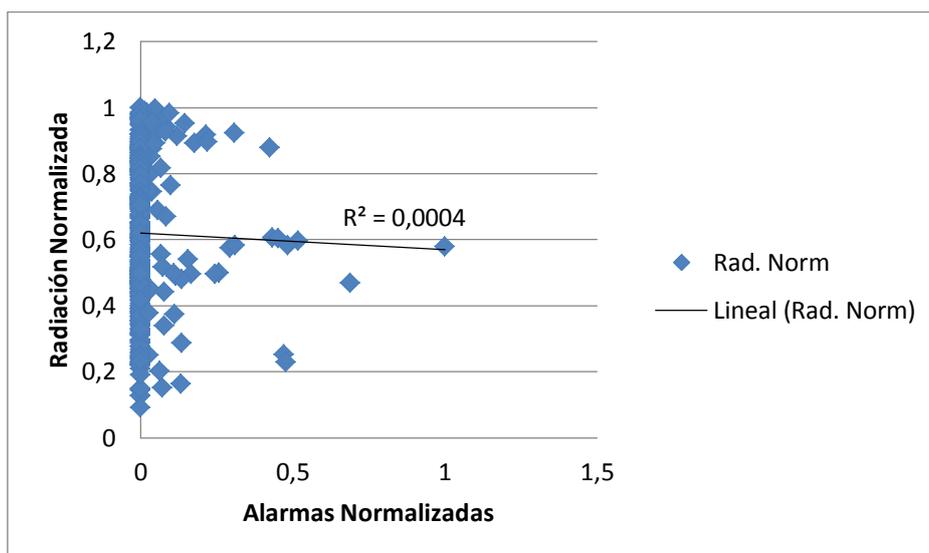


Figura 99: Humedad media diaria normalizada frente a alarmas no reales medias diarias normalizadas del nuevo sistema

Fuente: Elaboración propia

Así pues, se observa que gracias a la nueva distribución de cámaras, con una mayor cantidad de cámaras fijas que limitan las zonas a vigilar de las móviles, las variables que antes afectaban al sistema ahora no le afectan, ya que ninguna de las correlaciones es significativa y, si atendemos a los gráficos, vemos que la línea de regresión es prácticamente plana, con la ausencia de correlación que ello conlleva.

IV.1.2.1.3. Distribución horaria de las alarmas no reales del nuevo sistema

Agrupando las alarmas no reales generadas por el nuevo sistema en función de la hora en la que se han producido, se obtiene el siguiente resultado:

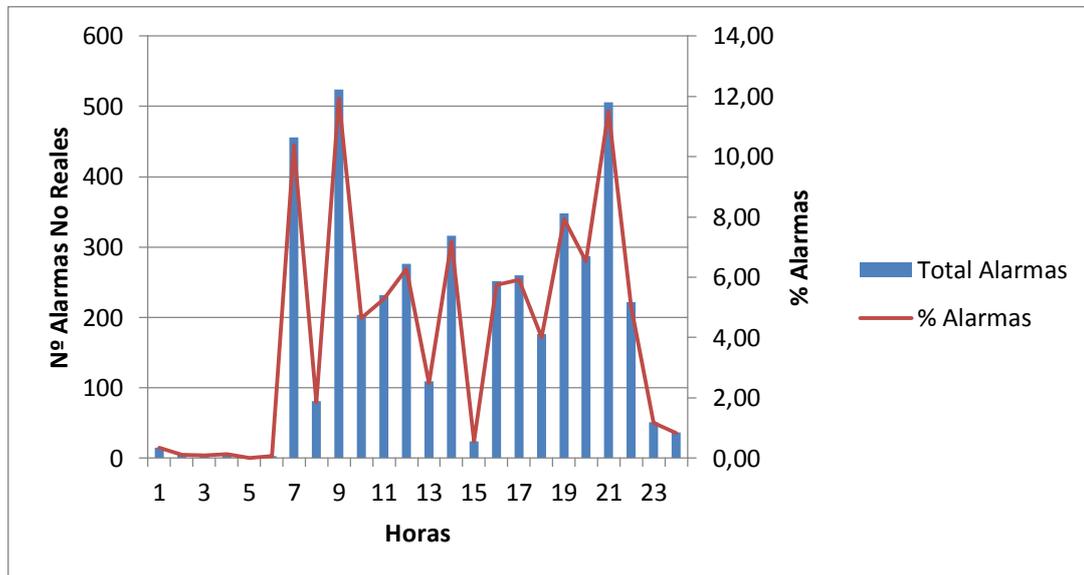


Figura 100: Distribución horaria de alarmas no reales del nuevo sistema

Fuente: Elaboración propia

Se observa cómo los mayores picos de alarmas no reales se dan en los amaneceres y anocheceres, y no tanto en las horas centrales del día como pasaba con el sistema anterior; esta disminución de las alarmas en las horas centrales del día explica el porqué ya no existe correlación entre la radiación diaria y la cantidad de alarmas no reales que da el nuevo sistema. Por otro lado, pone de manifiesto cómo las mejoras técnicas han mejorado el factor horario a la hora de la creación de alarmas no reales, si bien han trasladado el problema de las horas centrales a las horas de alba y ocaso.

IV.1.2.4 Distribución de alarmas no reales por cámara del nuevo sistema

Siguiendo con el análisis paralelo al efectuado en el capítulo III, se ha estudiado la distribución de las alarmas no reales según la cámara de detección, la nomenclatura de estas cámaras ha sido:

- C1: Cámara fija 1 (Gola 26)
- C2: Cámara fija 2 (Gola 26)
- C3: Cámara fija 3 (Gola 26)

- C4: Cámara fija 4 (Gola 4)
- C5: Cámara fija 5 (Gola 4)
- SO1: Cámara móvil 1 (Gola 4)
- SO2: Cámara móvil 2 (Gola 10)
- SO3: Cámara móvil 3 (Gola 26)

Siendo los resultados los que se muestran a continuación:

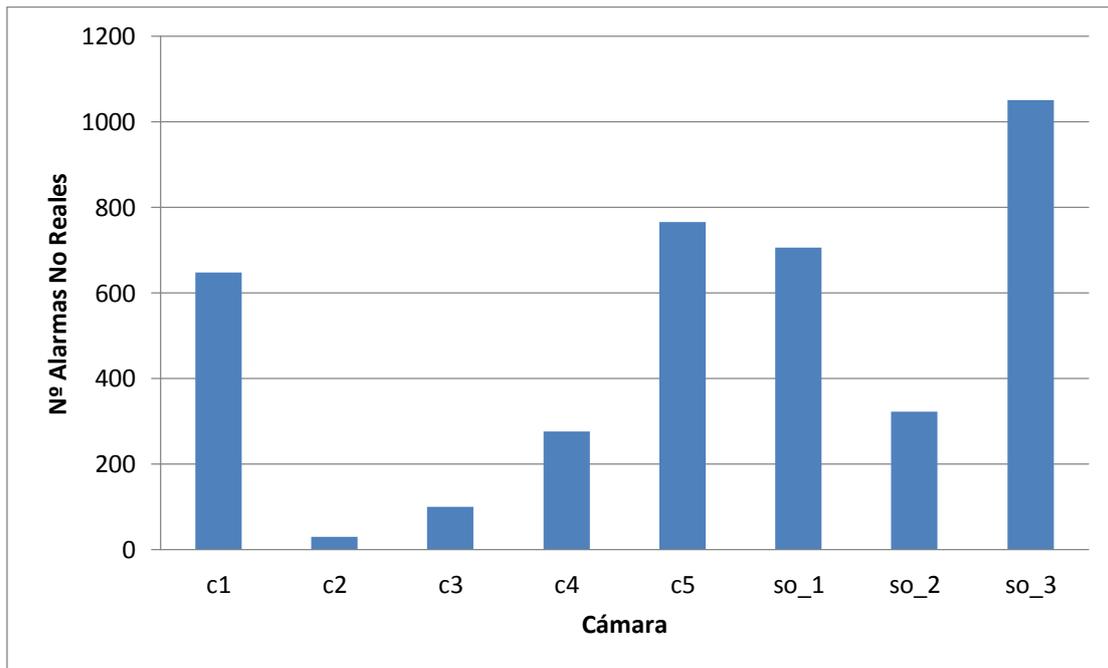


Figura 101: Distribución de alarmas no reales del nuevo sistema según cámara de detección

Fuente: Elaboración propia

Respecto a las cámaras fijas, las que más alarmas han producido han sido la 5 y la 1, que miran al norte y sur respectivamente, por un lado C5 capta la interfaz agua-tierra de los arrozales de la albufera, mientras que la C1 capta la zona de interfase entre viales y vegetación de la zona sur. Por su parte, las cámaras móviles que mayor número de alarmas provocaron fueron la 3 y la 1, precisamente en el mismo sentido que las cámaras fijas antes mencionadas.

Esta distribución de alarmas por cámaras, como era de esperar, difiere del anterior sistema, ya que se evitaron las orientaciones estrictas Sur y Este que fueron las que mayor número de falsos positivos provocaron, sin embargo, pese a no haber una cámara que se diferencie significativamente del resto en relación a su mayor cantidad de falsos positivos, sí

que se observa que la que da un mayor número de alarmas es la cámara móvil con algunos *presets* orientados hacia el sur, tal como era de esperar de los resultados obtenidos del sistema anterior. No obstante, este mayor número de alarmas no es significativo, y se puede concluir que las mejoras técnicas han distribuido el número de falsos positivos entre el conjunto de cámaras del sistema.

IV.1.2.2 Análisis de las alarmas reales del nuevo sistema

Desde el momento en que se puso en producción el nuevo sistema de detección de incendios mediante cámaras termográficas en la Devesa, hasta la fecha de recolección de datos, se produjeron en la zona un total de 8 sucesos de incendio. De esos 8 sucesos, el nuevo sistema tan sólo fue capaz de detectar el del día 8 de Agosto de 2011, incendio que alcanzó una superficie de más de 1 ha.

Los datos de los incendios en este periodo de estudio vienen tabulados en la siguiente tabla:

Tabla 30: Incendios dados durante la época de estudio del nuevo sistema

Nº	FECHA	Hora Detección tradicional	Superficie total afectada	Localización	Dispositivo De Detección	Hora Detección Sistema
1	22/02/2011	18:55	150 m ²	Playa de la Garrofera	NO DETECTADO	
2	31/03/2011	19:12	conato	C/ SOLLANA, 18	NO DETECTADO	
3	20/05/2011	17:05	10 m ²	Tallafoc de la Rambla	NO DETECTADO	
4	19/07/2011	18:43	20 m ²	Gola del Pujol, vial central	NO DETECTADO	
5	8/08/2011	19:00	1 ha	Mallada Redona	SO 1	19:01
6	9/08/2011	13:52	rescoldos	Mallada Redona	NO DETECTADO	
7	10/08/11	08:27	rescoldos	Mallada Redona	NO DETECTADO	

Fuente: Elaboración propia

Al igual que con el anterior sistema, el nuevo no es capaz de detectar aquellos incendios de pequeñas superficies, los cuales rara vez superan la barrera de la cubierta vegetal; por lo que, pese a las mejoras técnicas introducidas, el nuevo sistema se muestra incapaz de mejorar la superficie mínima que un incendio debe alcanzar para poder detectarlo.

Respecto a la hora de detección, y teniendo en cuenta que en este caso la hora de detección tradicional no se trata del aviso a la guardería forestal, sino que se refiere a la hora en que llegó un aviso del 112 al Centro de Comunicaciones de bomberos, se observa que el sistema detecta más tardíamente los incendios que los métodos tradicionales, los cuales avisaron al servicio de bomberos con antelación.

Finalmente, si analizamos la distribución geográfica de las alarmas reales de incendio veremos que, pese a que se dan alrededor de las mismas coordenadas, esas coordenadas no coinciden con la zona real del incendio. Lo cual aumenta, aún más si cabe, la desconfianza del usuario final hacia el sistema.



Figura 102: Distribución geográfica de alarmas reales del nuevo sistema durante el incendio del 8/8/2011

Fuente: Elaboración propia

Se observa que las alarmas están ubicadas en unas coordenadas erróneas. No obstante, pese a que las coordenadas no coinciden con la posición real del incendio, sí que cabe dar estas alarmas como reales ya que el sistema estaba captando el incendio real, tal y como se muestra a continuación, y lo estaba alineando con las coordenadas de incendio correctas.



Figura 103: Captura termográfica del incendio del 8/8/2011 a los 10 minutos de iniciarse

Fuente: Servicio Bomberos Ayuntamiento de Valencia

Con todo, se aprecia que gracias a las mejoras técnicas:

- Se ha bajado el total de alarmas no reales diarias que se producen
- Se ha eliminado la correlación de las alarmas no reales con la humedad y la radiación
- Se ha eliminado la concentración de las alarmas no reales en las horas centrales del día
- Se ha distribuido el aglutinamiento en la detección de falsos positivos en las cámaras que miraban al este hacia el resto de cámaras.

Sin embargo; el sistema sigue produciendo un elevado número de casos falsos, siguen sin detectarse los pequeños focos, y se siguen ajustando incorrectamente las coordenadas en aquellos incendios que sí se detectan pero que se dan alejados de las torres en las que están ubicadas las cámaras. Es por ello que es necesario realizar un análisis que vaya más allá de las cuestiones técnicas a la hora de intentar mejorar la eficiencia de este tipo de sistemas. Ya que estas mejoras técnicas, además de estar normalmente propuestas por expertos en la

tecnología que carecen de experiencia práctica en el campo de la lucha contra incendios, siempre están expuestas a posibles fallos como ruptura de equipos, deterioro de las cámaras, caída de la red de comunicaciones, etc. Todos ellos fallos propios de sistemas tecnológicos, que hacen que sea necesario dar un paso más allá, a fin de amortiguar las alarmas no reales que por cualquiera de estas cuestiones puedan darse.

El análisis realizado en el Capítulo III ha dado pie a un conjunto de aportaciones, las cuales se agrupan a continuación bajo el nombre de aportaciones metodológicas. Estas aportaciones parten del estudio previo y pretenden, por un lado, disminuir el número total de alarmas no reales que da el sistema; mientras que, por otro lado, la pretensión es que en el caso de que el sistema dé una alarma, ésta se pueda clasificar en función del riesgo real de incendio en la zona.

IV. 2. Aportaciones metodológicas al caso de estudio

Tal y como se ha venido explicando a lo largo del apartado anterior, para minimizar el número de alarmas no reales que da el sistema, no basta con aplicar sólo mejoras técnicas que mejoren el hardware, software y sistemas de comunicaciones; se hace necesario un estudio detallado de la zona a vigilar.

Esto es precisamente lo que se ha desarrollado en este apartado de aportaciones metodológicas, por un lado se propone la utilización del conocimiento adquirido del estudio del anterior sistema de detección de incendios mediante infrarrojos, realizado en el Capítulo III, a fin de minimizar al máximo el número de alarmas no reales que genera el nuevo sistema, por otro se propone aplicar el mapa de riesgo físico desarrollado en el Plan de Prevención contra Incendios Forestales del Parque Natural de la Albufera ([Parc albufera, 2014](#)), a fin de poder clasificar cualquier alarma que se genere en función del riesgo físico que tenga la zona en la que se produzca la alarma; por último se propone la utilización de la Red Neuronal Probabilística desarrollada para determinar el riesgo de incendios de más de 1 ha, a fin de poder clasificar las alarmas en función del riesgo que determine la red neuronal.

IV.2.1. Aplicación de la concatenación de 6 alarmas para definir un suceso real

Tal y como se ha expuesto en el Capítulo III, ninguno de los casos de incendios reales que se han producido a lo largo del funcionamiento del anterior sistema se ha dado con un número de alarmas inferior a 6; esto conlleva que todas aquellas alarmas consecutivas en el tiempo que no han llegado a alcanzar un total de 6 alarmas han sido siempre alarmas no reales. En

otras palabras, todos aquellos sucesos que no han tenido un mínimo de 6 alarmas han sido sucesos no reales.

A continuación se muestra una tabla comparativa entre el total de alarmas generadas por el nuevo sistema, si simplemente se le aplican las mejoras técnicas hasta ahora explicadas, y el total que se genera si se descartan sucesos que no alcanzan un mínimo de 6 alarmas:

Tabla 31: Comparación entre el total de alarmas del nuevo sistema y el total de alarmas a partir de 6 consecutivas

	Todas las alarmas	Alarmas a partir de 6 consecutivas
TOTAL ALARMAS	4394	2789
% ALARMAS	100 %	63,5 %

Fuente: Elaboración propia

Se observa cómo aplicando esta aportación de no considerar un suceso como válido hasta que no alcance un mínimo de seis alarmas, se disminuye automáticamente el total de alarmas más de un 36%. Posicionándolas sobre plano se observa cómo esta metodología de reducción de falsos positivos no elimina alarmas de un determinado tipo de zona, sino que disminuye el global de los falsos positivos, manteniendo su distribución general:

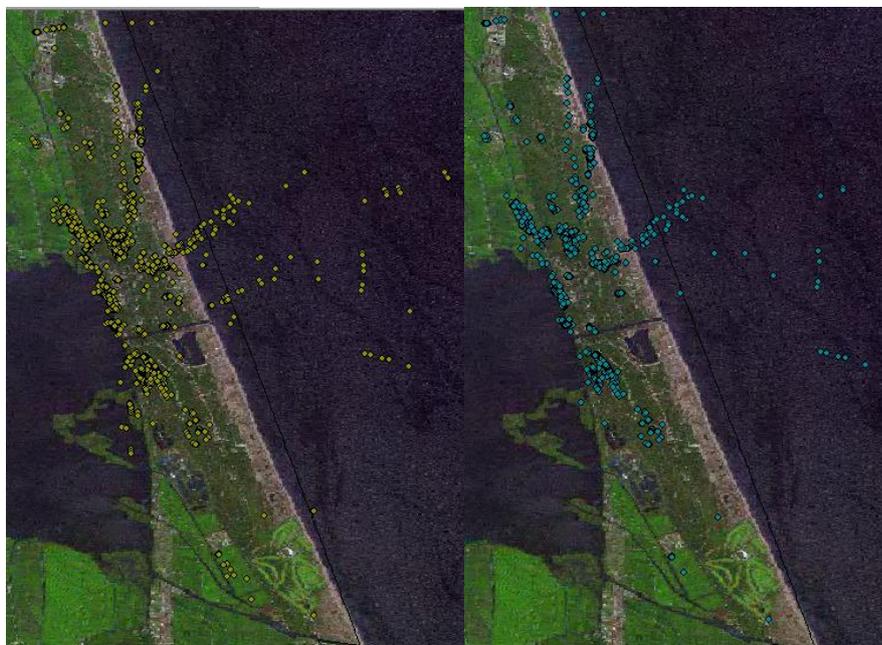


Figura 104: Comparación entre la distribución geográfica del total de alarmas (izquierda) y el total de alarmas a partir de 6 consecutivas (derecha)

Fuente: Elaboración propia

Finalmente, para terminar de validar esta metodología de disminución de falsos positivos, es necesario averiguar si este tratamiento de las alarmas conlleva un retraso excesivo en la detección del único suceso real que se ha dado en el periodo de análisis del nuevo sistema:

Tabla 32: Siete primeras alarmas del nuevo sistema en el incendio del 8/08/2011

Día Inicio	Hora Inicio	Día Fin	Hora Fin	X	Y
08/08/2011	19:01:08	08/08/2011	19:01:24	730682,7824	4360103
08/08/2011	19:03:17	08/08/2011	19:03:36	730672,4518	4360371
08/08/2011	19:03:24	08/08/2011	19:03:46	730672,4518	4360371
08/08/2011	19:03:29	08/08/2011	19:03:46	730672,1393	4360371
08/08/2011	19:03:39	08/08/2011	19:03:56	730672,1393	4360371
08/08/2011	19:03:42	08/08/2011	19:04:06	730672,1393	4360371
08/08/2011	19:03:48	08/08/2011	19:04:06	730672,4518	4360371

Fuente: Elaboración propia

En la tabla anterior se aprecia que la diferencia de tiempo entre la primera alarma y la séptima, que sería la primera en caso de aplicar esta metodología, es de 2 minutos y 40 segundos, tiempo no significativo a la hora de detectar un conato de incendio forestal. Así pues, si se acepta este mínimo retraso como válido a la hora de detectar un conato de incendio, se reduce en más de un 36% las alarmas no reales del nuevo sistema.

Sin embargo, cabe decir que este tipo de metodología no debe ser estática, debiendo realizarse un estudio sistemático a lo largo del tiempo que sea capaz de determinar tanto si el sistema está funcionando correctamente, como si el número de alarmas mínimo que debe definir un suceso debe variar, bien disminuyéndolas para evitar retrasos en la detección de futuros incendios, bien aumentándolas para disminuir todavía más el número de falsos positivos.

IV.2.2 Aplicación del mapa de riesgo físico

Ya se ha visto que hay determinadas zonas en las que el sistema tiende a producir alarmas no reales, esas zonas se pueden enmascarar de manera que el sistema las deje de vigilar, y se disminuyan así las alarmas no reales. A su vez, para el resto de zona a vigilar, no es correcto tratar a todas las áreas por igual, ya que no conlleva el mismo riesgo de incendio un conato ocurrido en un cañar aislado, que uno que se da en medio de una pinada próxima a edificios habitados. Esta división en zonas según la peligrosidad que conlleve un conato de incendio

requiere de un estudio previo de la zona a vigilar, a fin de determinar aquellas zonas de mayor peligrosidad de incendio en función de su tipo de combustible.

Como aportación metodológica, se ha utilizado el mapa de riesgo físico de la Devesa de la Albufera contemplado en el Plan de Prevención contra Incendios Forestales del Parque Natural de la Albufera ([Parc albufera, 2014](#)). Este mapa, que ya fue expuesto en el apartado III.1.2.6, y que se muestra a continuación sobre ortofoto, divide la Devesa en tres niveles de riesgo, en función principalmente de la vegetación en cada área:

- Medio, áreas sin color del mapa
- Alto, áreas de color amarillo
- Muy alto, áreas de color rojo

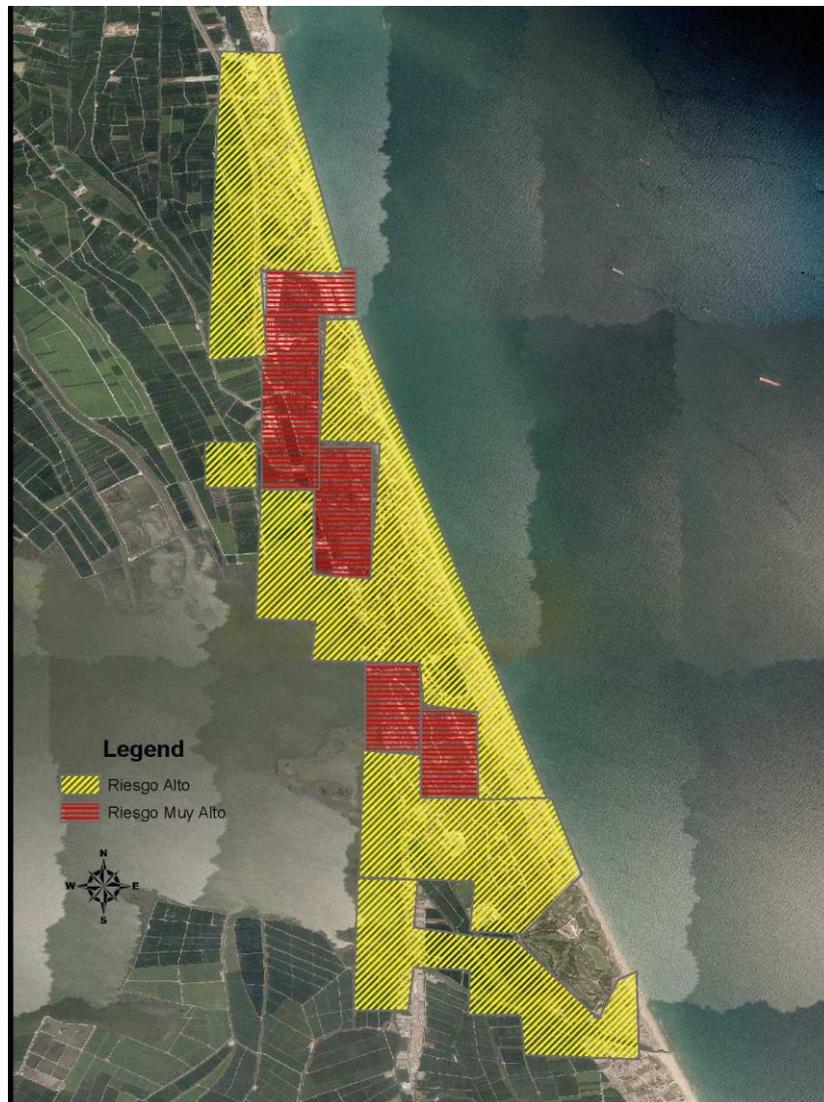


Figura 105: Plano riesgo físico sobre ortofoto

Fuente: Elaboración propia

Se aprecia que la zona forestal, que es la que debe ser vigilada por parte del sistema, corresponde únicamente a las marcadas como de riesgo alto y muy alto. Así pues, descartando automáticamente aquellas alarmas no ubicadas en zonas de riesgo físico alto o muy alto, se obtienen los siguientes resultados:

Tabla 33: Comparación entre total de alarmas, total de alarmas a partir de 6 consecutivas y total de alarmas a partir de 6 consecutivas con nivel de riesgo físico alto o muy alto

	Todas las alarmas	Alarmas a partir De 6 consecutivas	Alarmas a partir de 6 consecutivas y nivel de riesgo físico alto o muy alto
TOTAL ALARMAS	4394	2789	2551
% ALARMAS	100 %	63,5 %	58 %

Fuente: Elaboración propia

A continuación se muestra la imagen de las 2551 alarmas dadas en zonas de riesgo físico alto o muy alto:



Figura 106: Distribución geográfica del total de alarmas a partir de 6 consecutivas en zona de riesgo físico alto o muy alto

Fuente: Elaboración propia

Si bien esta metodología apenas baja un 5,5% el número de alarmas que se descartan, sí que permite clasificar las alarmas que se producen en función del riesgo físico que tengan, lo cual permite al gestor del sistema atribuir una prioridad mayor o menor a la alarma en función de la zona en donde se produzca. De hecho, atendiendo únicamente a las alarmas dadas dentro de las zonas de riesgo físico muy alto se observa que:

Tabla 34: Comparación entre el total de alarmas, el total de alarmas a partir de 6 consecutivas, el total de alarmas a partir de 6 consecutivas con nivel de riesgo físico alto o muy alto y el total de alarmas a partir de 6 consecutivas con nivel de riesgo físico muy alto

	Todas las alarmas	Alarmas a partir de 6 consecutivas	Alarmas a partir de 6 consecutivas y nivel de riesgo físico alto o muy alto	Alarmas a partir de 6 consecutivas y nivel de riesgo físico muy alto
TOTAL ALARMAS	4394	2789	2551	1134
% ALARMAS	100 %	63,5 %	58 %	25%

Fuente: Elaboración propia

Así pues, sólo el 25% de las alarmas detectadas por el sistema se dieron dentro de zonas con riesgo físico muy alto. Esto reduce a una cuarta parte el total de las alarmas que deben ser consideradas ubicadas en zona de riesgo muy elevado, con lo que gracias a esta nueva clasificación se obtiene una mayor confianza en el sistema.

IV.2.3 Aplicación la red neuronal para incendios de más de 1 ha

Una vez establecida una metodología para delimitar el nivel de riesgo de cada alarma en función de la zona en donde se produzca, se debe ir un paso más allá, ya que también deben tenerse en cuenta las condiciones de cada día para determinar el riesgo que una alarma conlleva. En otras palabras, no debe darse la misma importancia a una alarma producida en un día nublado con humedad alta, que a una producida en un día ventoso, seco y caluroso ocurrido en los meses de máxima presión antrópica sobre la zona a vigilar.

Para tener en cuenta este factor de clasificación de las alarmas del sistema, se ha considerado como más conveniente la utilización de la red neuronal desarrollada para aquellos incendios de más de una hectárea. El motivo por el que se ha elegido esta red neuronal, y no aquella capaz de determinar la probabilidad de conatos de incendios, es debido a que, como ya se ha demostrado, este tipo de sistemas no detecta conatos de incendio; sino que necesita que éstos se desarrollen hasta alcanzar un tamaño superior, y así vencer la barrera de la

cubierta vegetal, a fin de que su radiación alcance las cámaras y puedan ser detectados. Así pues, no es útil para este sistema el clasificar las alarmas en función del riesgo que tenga un día determinado en que se den conatos de incendio; esta información sería más útil para protocolizar labores preventivas, pero esto escapa del ámbito del presente estudio.

Sin embargo, sí que es de gran utilidad la clasificación de las alarmas en función del riesgo que exista de que un foco alcance dimensiones superiores; esto es, en función de si un foco detectado por una cámara, tiene mayor o menor posibilidad de expandirse.

Con todo, se procedió a alimentar a la red neuronal desarrollada con los valores meteorológicos de cada día de estudio del nuevo sistema, a fin de poder asignar a cada día un nivel de riesgo determinado. Una vez determinado el nivel de riesgo diario, se clasificaron las 4394 alarmas generadas por el nuevo sistema, en función del nivel de riesgo que arrojaba la red; obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 35: Alarmas en función del nivel de riesgo de incendio arrojado por la red neuronal para las fechas del nuevo sistema

Desglose riesgo incendio todas alarmas			Desglose riesgo incendio más de 6 alarmas consecutivas		
<i>TIPO DE RIESGO</i>	<i>TOTAL ALARMAS</i>	<i>% ALARMAS</i>	<i>TIPO DE RIESGO</i>	<i>TOTAL ALARMAS</i>	<i>% ALARMAS</i>
<i>BAJO</i>	1056	24,03%	<i>BAJO</i>	810	29%
<i>MODERADO</i>	26	0,59%	<i>MODERADO</i>	14	1%
<i>ALTO</i>	918	20,89%	<i>ALTO</i>	367	13%
<i>EXTREMO</i>	2394	54,48%	<i>EXTREMO</i>	1598	57%
<i>TOTAL ALARMAS</i>	4394	100,00%	<i>TOTAL ALARMAS</i>	2789	100%

Fuente: Elaboración propia

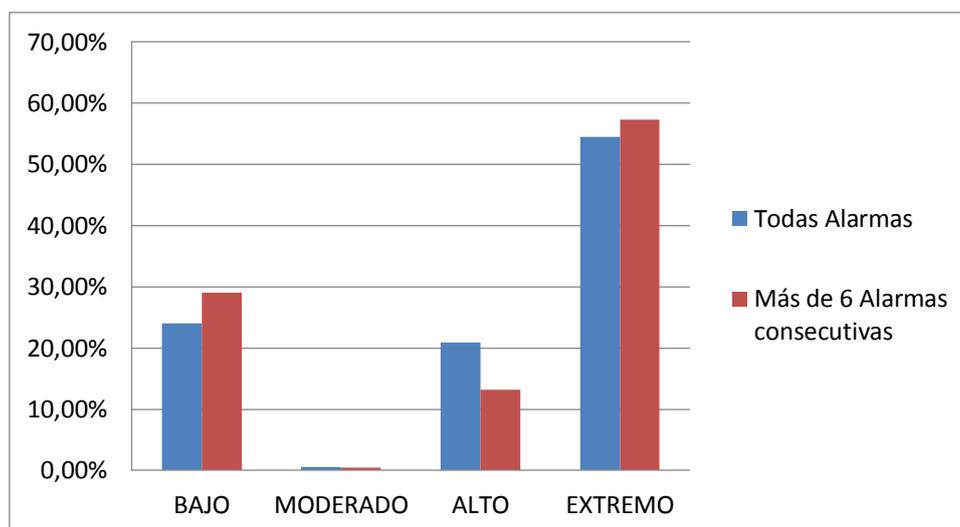


Figura 107: Desglose de las alarmas del nuevo sistema en función del riesgo de incendio diario arrojado por la red neuronal para incendios de más de 1 ha

Fuente: Elaboración propia

Se aprecia que en ambos casos más de la mitad de las alarmas producidas por el nuevo sistema se dieron en días de nivel de riesgo extremo; mientras que aproximadamente un 30% de las alarmas que se dieron de forma consecutiva fueron en días de nivel de riesgo bajo.

IV.2.4 Aplicación combinada de los métodos de clasificación

A la vista de estos resultados se planteó una conjunción de la clasificación de las alarmas, combinando los dos métodos de clasificación expuestos. Se trata de poder determinar el nivel de riesgo real de una alarma generada por el sistema atendiendo a dos factores claves como son el nivel de riesgo físico y el nivel meteorológico de riesgo de incendio forestal. Para esta clasificación final de las alarmas generadas por el sistema se pusieron en práctica las metodologías hasta ahora planteadas, a fin de disminuir el número de alarmas no reales generadas.

Por un lado, no se tuvieron en cuenta las alarmas generadas por el sistema que no alcanzaron más de 6 alarmas consecutivas, así como tampoco se tuvieron en cuenta aquellas que no se dieron dentro de la zona de nivel de riesgo físico alto o muy alto. Así pues, tal y como se muestra en la tabla 33, se parte de un 58% del total de alarmas, con lo que inicialmente ya se redujo en más de un 40% el número de alarmas no reales.

Gráficamente, se muestra el proceso de reducción de alarmas:

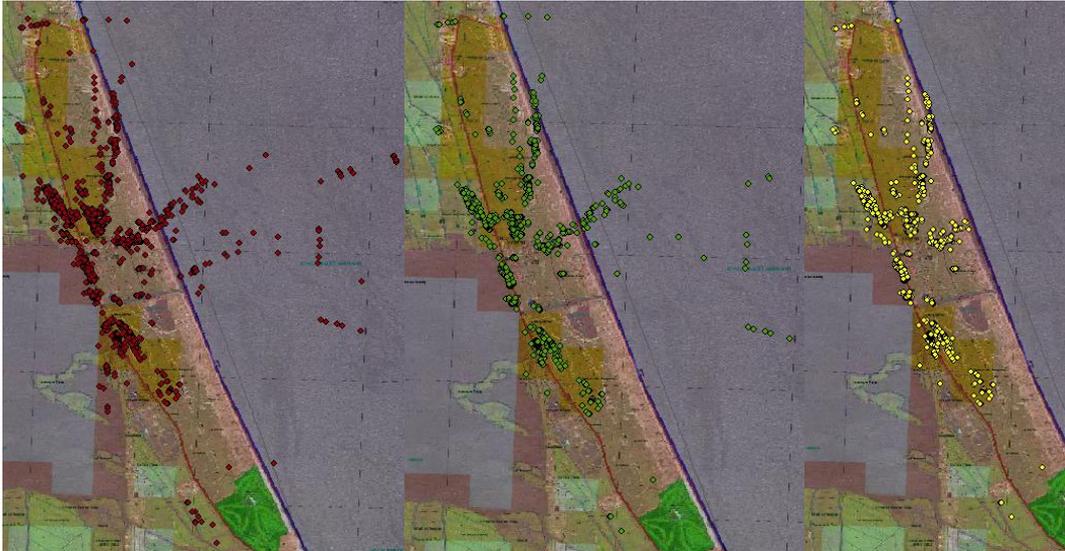


Figura 108: Distribución geográfica de las alarmas del nuevo sistema sobre mapa de riesgo físico; de izquierda a derecha: todas alarmas nuevo sistema, sólo más de seis alarmas consecutivas, sólo más de seis alarmas consecutivas con riesgo físico alto o muy alto

Fuente: Elaboración propia

En la figura anterior se aprecia a simple vista que con la metodología planteada no sólo se reduce la cantidad de alarmas, sino se eliminan las alarmas dadas en zonas acuosas o marítimas carentes de riesgo real. Ahora bien, hasta ahora lo único que se ha hecho ha sido aplicar las metodologías propuestas de eliminación de alarmas que no lleguen a alcanzar 6 consecutivas, y eliminación de las alarmas que no se den en zona forestal. Todavía no se ha planteado una clasificación de las alarmas que seguiría generando el sistema.

Para clasificar las alarmas que seguiría generando sistema, las correspondientes a la imagen de la derecha en la figura anterior, se planteó un método combinado de clasificación de los niveles de riesgo, en el que se le daba un valor numérico tanto a cada nivel de riesgo físico, como a cada nivel de riesgo de incendio dado por la red neuronal; para posteriormente combinarlos y asignarles como valor numérico el resultado de la multiplicación de cada uno de sus componentes:

Tabla 36: Clasificación en niveles de riesgo combinados

Nivel Riesgo físico		Nivel Riesgo Incendio Red	
Nomenclatura	Valor Numérico	Nomenclatura	Valor Numérico
Alto	1	Bajo	0
Muy alto	2	Moderado	1
		Alto	3
		Extremo	7
Nivel de riesgo combinado			
Nomenclatura			Valor Numérico
Alarma en día de riesgo de incendio bajo			0
Alarma en día de riesgo de incendio moderado, dada en zona de riesgo físico alto			1
Alarma en día de riesgo de incendio moderado, dada en zona de riesgo físico muy alto			2
Alarma en día de riesgo de incendio alto, dada en zona de riesgo físico alto			3
Alarma en día de riesgo de incendio alto, dada en zona de riesgo físico muy alto			6
Alarma en día de riesgo de incendio extremo, dada en zona de riesgo físico alto			7
Alarma en día de riesgo de incendio extremo, dada en zona de riesgo físico muy alto			14

Fuente: Elaboración propia

Así pues, con la clasificación mediante niveles de riesgo combinados, una vez descartadas las alarmas que no alcanzaron un total de 6 seguidas, y que se dieron fuera de las zonas de riesgo físico alto o muy alto, se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 37: Total de alarmas del nuevo sistema en función del nivel combinado de riesgo

Nivel de riesgo combinado		
Nomenclatura	Valor Numérico	TOTAL ALARMAS
Alarma en día de riesgo de incendio bajo	0	751
Alarma en día de riesgo de incendio moderado, dada en zona de riesgo físico alto	1	11
Alarma en día de riesgo de incendio moderado, dada en zona de riesgo físico muy alto	2	0
Alarma en día de riesgo de incendio alto, dada en zona de riesgo físico alto	3	295
Alarma en día de riesgo de incendio alto, dada en zona de riesgo físico muy alto	6	71
Alarma en día de riesgo de incendio extremo, dada en zona de riesgo físico alto	7	904
Alarma en día de riesgo de incendio extremo, dada en zona de riesgo físico muy alto	14	519

Fuente: Elaboración propia

A continuación se muestran las alarmas posicionadas sobre el mapa:

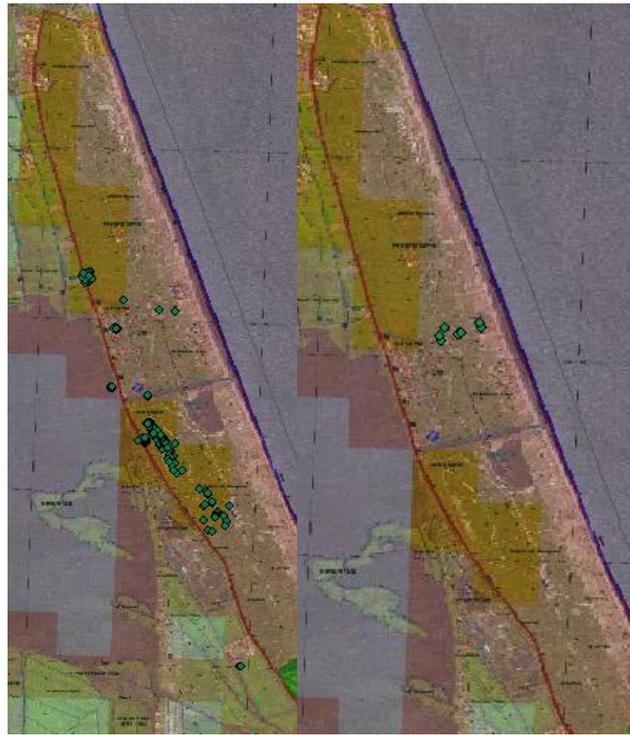


Figura 109: Alarmas con nivel combinado de izquierda a derecha: 0 y 1

Fuente: Elaboración propia

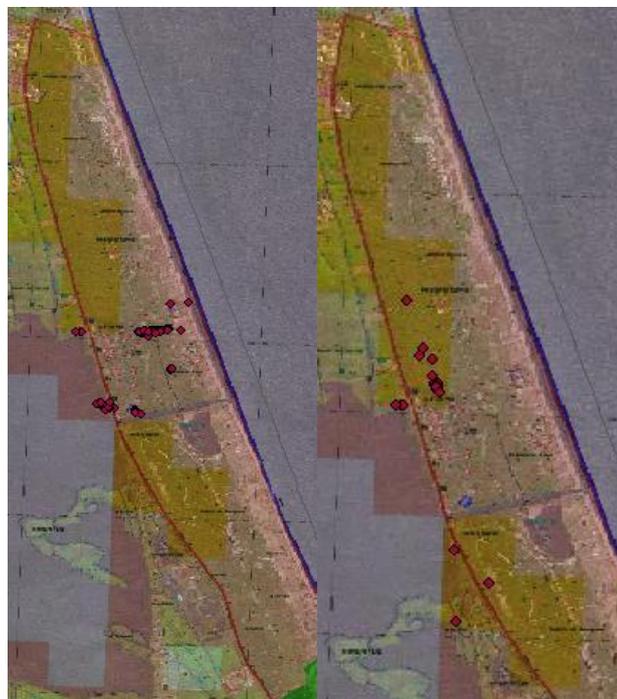


Figura 110: Alarmas con nivel combinado de izquierda a derecha: 3 y 6

Fuente: Elaboración propia

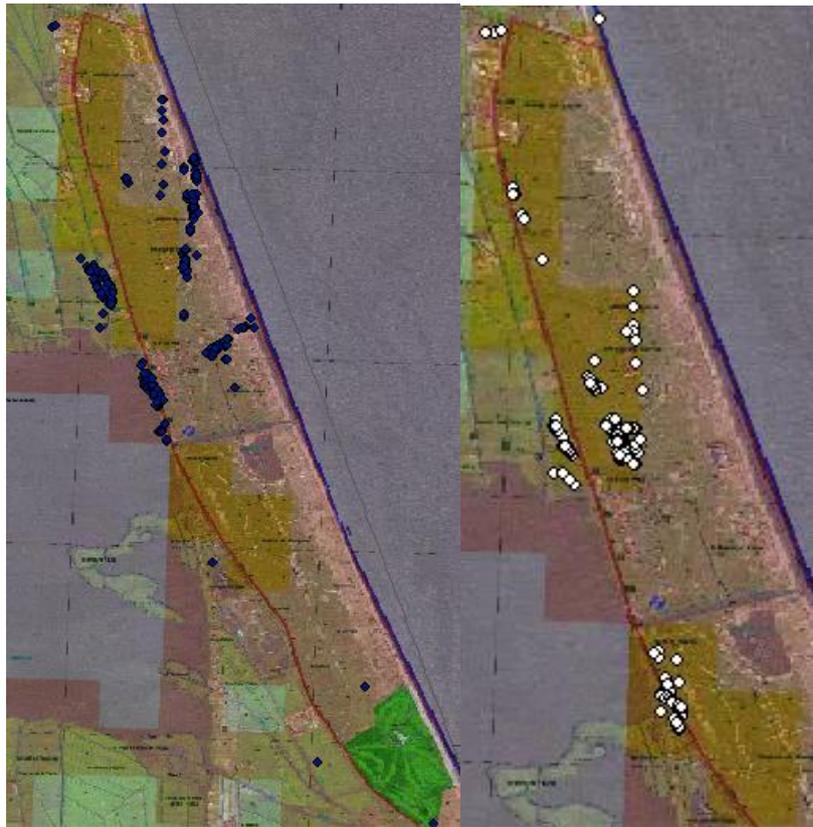


Figura 111: Alarmas con nivel combinado de izquierda a derecha: 7, 14

Fuente: Elaboración propia

Con todo, esta nueva clasificación de las alarmas permite darle una importancia relativa a cada una de las mismas, pudiendo crear criterios de actuación ante alarmas en función del riesgo real de incendio. Así, del total inicial de alarmas que produjo el nuevo sistema aplicando las mejoras técnicas (4394), se ha pasado a que sólo 904 tenían riesgo combinado 7, y únicamente 519 eran de riesgo combinado 14. Lo que en la práctica supone poder discriminar gran cantidad de las alarmas que produce el sistema, ya que tan sólo un 11,8 % (nivel combinado 14) se dieron en zonas donde cabría una rápida verificación in situ por parte del personal de guardia.

Sin embargo, este análisis no sería completo si no se hiciera un estudio del único evento de incendio acaecido en la zona durante la época de estudio del nuevo sistema. Cabe preguntarse si la nueva clasificación planteada ha sabido recoger de forma correcta las alarmas producidas en el día de incendio. Atendiendo a los resultados, se observa que el día del incendio acaecido el 8/8/2011 el sistema detectó el fuego, siendo la clasificación de nivel combinado 14 para todas las alarmas del mismo.

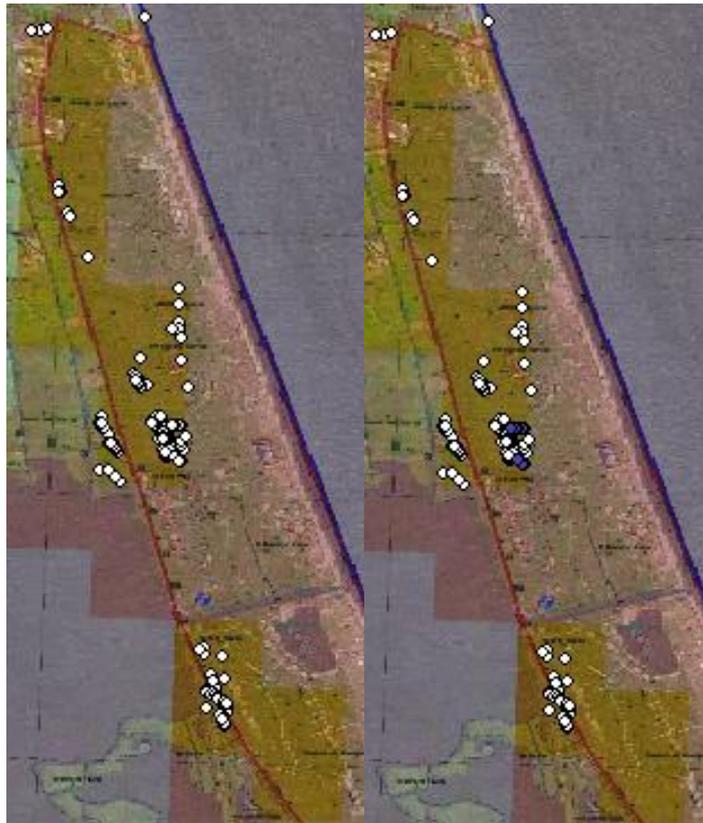


Figura 112: Izquierda: Alarmas nivel combinado 14; Derecha: Alarmas nivel combinado 14, con alarmas reales en azul

Fuente: Elaboración propia

Si analizamos el total de este tipo de alarmas:

Tabla 38: Clasificación en reales y no reales del total de alarmas con nivel de riesgo combinado 14

Alarmas No Reales	355
Alarmas Reales	164

Fuente: Elaboración propia

Se aprecia que todas las alarmas reales que ha arrojado el nuevo sistema correspondían a alarmas de Nivel Combinado 14 lo cual, pese a carecer de datos lo suficientemente abundantes como para considerarlo un funcionamiento definitivamente aceptable, sí que supone un resultado lo suficientemente bueno como para considerar válido el método de clasificación desarrollado en la presente Tesis.

Capítulo V
Discusión y conclusiones



Capítulo V: Discusión y Conclusiones

La presente Tesis pretende optimizar las alarmas generadas por un sistema de detección de incendios mediante cámaras termográficas. Para ello, tal y como se expone en el “Capítulo III Caso de Estudio”, se ha analizado en profundidad la zona a vigilar; la cual, al tratarse de un área de interfaz urbano-forestal, requiere de un estudio en detalle tanto de sus condiciones ambientales como de su casuística de incendios, para lo cual se ha recopilado información sobre los incendios en ella producidos durante el periodo 1968-2012.

Posteriormente, con el estudio de la zona ya realizado, se ha desarrollado un conjunto de redes neuronales probabilísticas cuya intención es estimar el nivel de riesgo de incendio en el área de estudio, y cuyos resultados se ajustan más a la realidad que otros índices oficiales de riesgo meteorológicos. Para el desarrollo de estas redes se recopilaron más de 5.256.000 datos meteorológicos durante el periodo 1998-2010, los cuales se cruzaron con los datos de incendio en la zona de estudio que ya se habían recopilado.

A su vez, se estudió durante el periodo 2007-2010 las 11.328 alarmas producidas por el sistema de detección de incendios mediante sistemas infrarrojos ubicado en la Devesa; analizando la distribución de las mismas, y los factores que influían sobre éstas. Este sistema provocó una media de 13 alarmas no reales por día.

Una vez realizado todo este análisis, tal y como se recoge en el “Capítulo IV: Aportaciones al caso de estudio”, se planteó una mejora del sistema de detección de incendios basado en dos factores, por un lado mejoras tecnológicas que contribuyesen a la disminución de las alarmas a través de nuevas cámaras, nuevos sistemas de comunicaciones y nuevo equipamiento de hardware y software; y por otro lado se plantearon unas aportaciones metodológicas basadas en los resultados del estudio realizado, estableciendo unas pautas de clasificación de estas alarmas, atendiendo a criterios de riesgo físico y de nivel de riesgo probabilístico de incendio; a fin de distinguir las alarmas generadas por el sistema en función del lugar donde estas alarmas se producía y de las condiciones, tanto meteorológicas como de presión antrópica, bajo las cuales estas alarmas se daban. Atendiendo a estos criterios de clasificación, se establecieron un total de 7 niveles de riesgo, los cuales se tabulan a continuación:

Tabla 39: Niveles de Riesgo Combinados

Nivel de riesgo combinado	
<i>Nomenclatura</i>	<i>Valor Numérico</i>
Alarma en día de riesgo de incendio bajo	0
Alarma en día de riesgo de incendio moderado, dada en zona de riesgo físico alto	1
Alarma en día de riesgo de incendio moderado, dada en zona de riesgo físico muy alto	2
Alarma en día de riesgo de incendio alto, dada en zona de riesgo físico alto	3
Alarma en día de riesgo de incendio alto, dada en zona de riesgo físico muy alto	6
Alarma en día de riesgo de incendio extremo, dada en zona de riesgo físico alto	7
Alarma en día de riesgo de incendio extremo, dada en zona de riesgo físico muy alto	14

Fuente: Elaboración propia

Las mejoras técnicas del nuevo sistema se pusieron en práctica a partir del año 2010, y se recopilaron los datos de sus primeros 14 meses de funcionamiento, observando que se disminuyó de forma directa el total de alarmas no reales generadas por el nuevo sistema. A partir de ahí, aplicando las aportaciones metodológicas, se pudo clasificar de forma fidedigna a las alarmas, resultando que el total de alarmas reales generadas por el nuevo sistema se correspondía con nivel de riesgo combinado 14. Esto implica, que el total de alarmas no reales con máximo nivel de riesgo de incendio se redujo a una media de 0,8 alarmas diarias.

Con todo este conjunto de resultados, se puede aceptar como válida la metodología desarrollada a lo largo de la Tesis para clasificar las alarmas y disminuir el número de aquellas no reales que un sistema de termografía infrarroja aplicada a la detección de incendios en zonas de interfaz urbano-forestal produce, que es al fin y al cabo el principal objetivo de este trabajo.

Sin embargo, no se ha querido finalizar esta investigación sin querer ir un paso más allá, ya que se pretende ahondar en el fin mismo que este tipo de sistemas debe de buscar; y que es precisamente una de las mayores carencias que se ha ido encontrando en la mayor parte de la literatura estudiada al respecto; esto es no centrarse únicamente en el sistema como fin en sí mismo, sino centrarse en el fin que hay detrás de todo este tipo de sistemas: la disminución de los incendios en las zonas vigiladas.

Así pues, antes de adentrarnos en las conclusiones finales de la presente Tesis, se considera conveniente realizar una reflexión sobre la utilidad real que el sistema estudiado ha producido a lo largo de su tiempo en funcionamiento para, acto seguido, hacer una breve reflexión sobre el coste económico que este tipo de sistemas conllevan, y si está o no justificada una inversión en este tipo de tecnología, más si cabe dada la profunda crisis económica que se está viviendo en estos momentos, y que debería requerir de los gestores un análisis exhaustivo de los frutos que cada inversión está cosechando, para discriminar aquellas inversiones no fructíferas.

V.1. Discusión de la influencia del sistema en el número de incendios

Como ya se ha venido demostrando a lo largo de la presente Tesis, los sistemas de detección de incendios mediante cámaras infrarrojas analizados no han sido capaces de detectar pequeños focos de incendio; pero sí que se han mostrado eficaces a la hora de detectar aquellos incendios que posteriormente han llegado a alcanzar más de una hectárea de superficie quemada.

Así pues, además del profundo análisis de los incendios ocurridos en la zona de estudio que se ha llevado a cabo a lo largo del Capítulo III, cabría plantearse si este tipo de sistemas ha servido para reducir el número de incendios de más de una hectárea ocurridos en la Devesa.

La distribución anual de estos incendios durante el periodo de estudio es la siguiente:

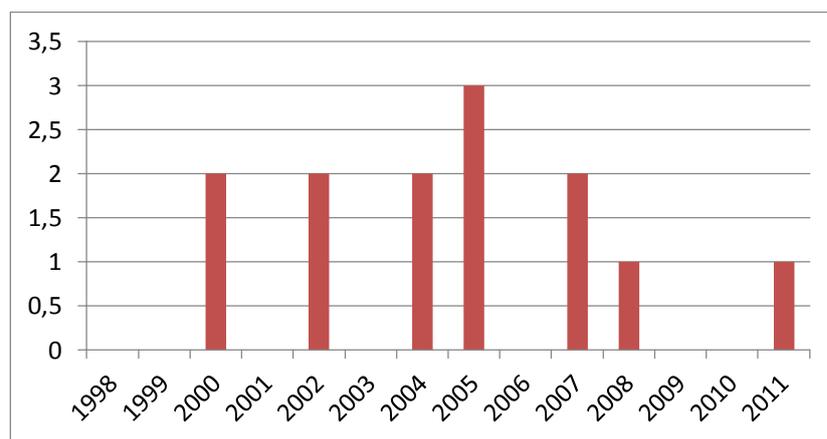


Figura 113: Total incendios de más de 1 ha por año en la Devesa de Valencia durante la época estudiada

Fuente: Elaboración propia

Se aprecia del gráfico anterior que el número de incendios superiores a una hectárea se dio con una frecuencia constante, de dos cada dos años, alcanzando el pico en 2005; para irse atenuando a partir del 2007; cabe recordar que fue en el año 2002 cuando el sistema se puso en fase de pruebas por parte de la Universidad Politécnica de Valencia, siendo el año 2007 cuando éste pasó a ser gestionado por la empresa *NGARO*, ya en fase de producción definitiva. Este hecho podría llevar a pensar que la instalación definitiva del sistema ha provocado una disminución del número de estos incendios; sin embargo, si ampliamos la serie histórica de incendios más allá del periodo de estudio:

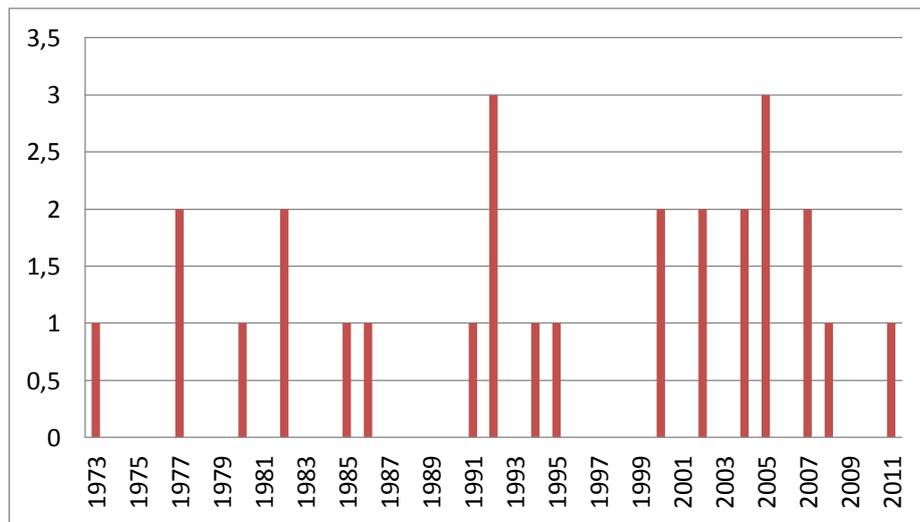


Figura 114: Total incendios de más de 1 ha por año en la Devesa de Valencia serie histórica

Fuente: Elaboración propia

De esta serie histórica más larga, se aprecia que el descenso producido a partir de 2007 ha hecho que la frecuencia de incendios sea más parecida a la de mediados de los 90, en donde no había instalado ningún sistema de vigilancia mediante infrarrojos, que a la del principio de la década del 2000. Por tanto, se puede descartar el efecto del sistema de vigilancia mediante infrarrojos en sí mismo como atenuador de los incendios forestales; de hecho, para realizar un análisis más profundo de la ocurrencia de incendios habría que ampliar el foco del análisis y tener en cuenta otras cuestiones como la gestión del monte que ha habido, la presión antrópica, las condiciones ambientales o el número de personal vigilando la zona, por poner algunos ejemplos.

Por otro lado, cabe plantearse si la instalación de estas cámaras, con la repercusión mediática que ha tenido, junto con los carteles situados dentro de la zona vigilada informando

de la instalación de este sistema; ha tenido un efecto disuasorio en los usuarios del monte que, como ya se ha demostrado, son los causantes de la mayoría de los incendios, bien por negligencia, bien intencionadamente.

La distribución anual del total de conatos e incendios en la zona, en el periodo estudio es la siguiente:

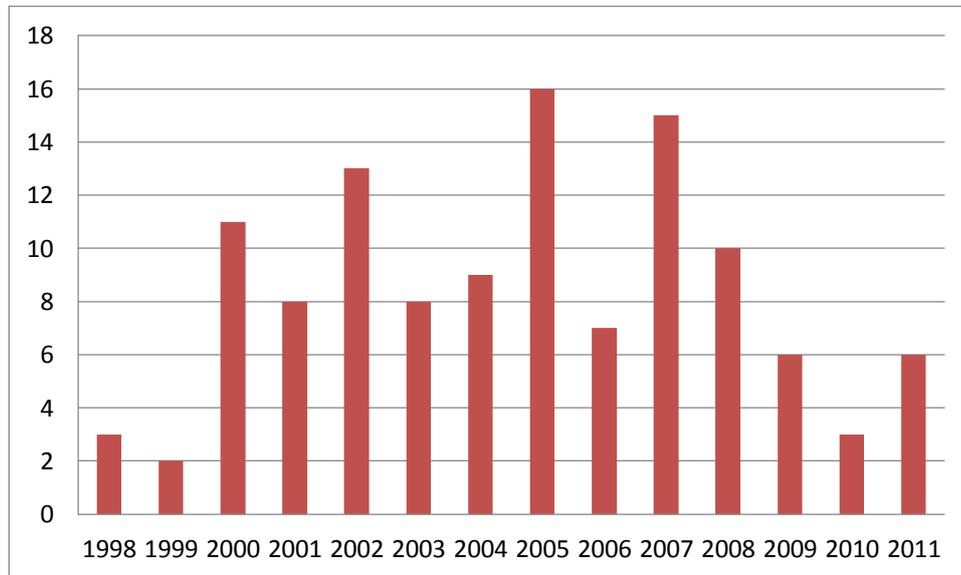


Figura 115: Distribución anual del total de conatos e incendios en la zona

Fuente: Elaboración propia

Nuevamente se observa un descenso en el total de incendios a partir de la instalación definitiva del sistema de detección mediante infrarrojos, sin embargo esta disminución no es lo suficientemente significativa como para afirmar que el sistema tiene realmente un efecto disuasorio sobre los usuarios de la Devesa; de hecho si nuevamente ampliamos la serie más allá del periodo de estudio, y usamos toda la serie histórica disponible observamos que nuevamente el comportamiento actual de los conatos de incendio vuelve a ser más próximo a la época de mediados de los 90:

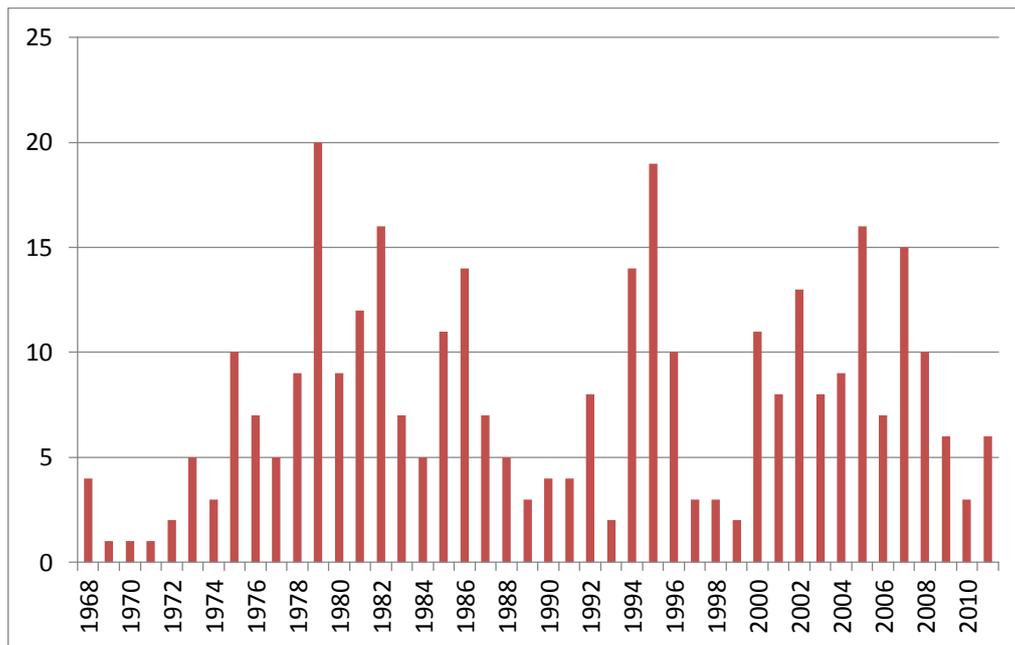


Figura 116: Distribución anual del total de conatos e incendios en la zona serie histórica

Fuente: Elaboración propia

Así pues, pese a que tanto el total de conatos de incendio como el de incendios de más de una hectárea ha disminuido desde la instalación definitiva del sistema, no puede afirmarse que exista una relación directa entre ambos hechos.

Si a esto se le añade que el sistema es incapaz de detectar conatos, siendo siempre los usuarios de la Devesa los que han dado el aviso de estos conatos de incendio; y que, como ya se ha mencionado, en los incendios de más de una hectárea siempre han llegado los avisos de los ciudadanos con antelación a las alarmas del sistema. Nos lleva a cuestionarnos la viabilidad de este tipo de sistemas; para lo cual resulta conveniente un análisis económico del mismo.

V.2. Discusión de la viabilidad económica del sistema

Como ya se ha mencionado a lo largo de la Tesis; el sistema analizado pertenece al Servicio de Bomberos del Ayuntamiento de Valencia. El cual ha sido el promotor de su instalación, así como el de su mejora y reestructuración en el año 2010 aplicando las mejoras expuestas en la presente Tesis, y de cuya gestión se encargó el autor de la misma durante el periodo 2010-2012.

Al haber sido un concurso público, se conocen los datos del presupuesto de licitación del proyecto de mejora y reestructuración del sistema llevado a cabo en el año 2010; éste ha sido

de 165.000 €, en donde se entregan por parte de la empresa ganadora del concurso el total de mejoras técnicas mencionadas en el apartado IV.1; sin embargo este presupuesto no contempla la sustitución de las cámaras termográficas móviles, las cuales se reutilizaban del proyecto anterior. Estas cámaras termográficas móviles, montadas sobre precisos posicionadores encargados de mover las cámaras a los diferentes *presets* establecidos, tienen un coste de 25.000 € cada una. Lo cual implica un coste adicional de 75.000 €.

Además, debe mencionarse que el proyecto sólo contemplaba las comunicaciones entre las cámaras, el servidor de alarmas y el cliente o puesto de usuario ubicado dentro del Parque de Bomberos del Saler; esto es, en el parque situado dentro de la zona a vigilar. Para las comunicaciones con el Parque Central de Bomberos de Valencia, en donde está el puesto cliente principal, se utilizó una red wimax previamente instalada, la cual no sólo está diseñada para esta interconexión, pero sin la que el proyecto no se hubiera podido llevar a cabo pues la antigua conexión de datos resultaba excesivamente lenta; dicha red wimax tuvo un coste de proyecto de 48.653 €.

Con todo, dejando a un lado el coste de la red wimax que, si bien es necesaria para el correcto funcionamiento del sistema, cumple con otras funcionalidades además de servir de conexión entre el servidor central de alarmas y el puesto cliente del parque central. Y teniendo en cuenta que de las tres sustituciones de cámaras móviles previstas, sólo se ha llevado a cabo (a la fecha de la redacción de la presente Tesis) la sustitución de una; el coste del proyecto ejecutado hasta la fecha es de aproximadamente 190.000 €. Todo ello sin contar los costes del proyecto inicial del Dister, los costes derivados del mantenimiento de los equipos, ni los costes de alquiler de las azoteas de los edificios en donde están instaladas las cámaras de vigilancia.

Así pues, teniendo en cuenta que durante el periodo de estudio ha habido 4 incendios de más de 1 ha que, como ya se ha demostrado, son los únicos capaces de detectar con fiabilidad este tipo de sistemas, conlleva que cada incendio detectado ha supuesto una media de 47.500 € de gasto.

Si a esto le añadimos que en todos los casos las llamadas de los usuarios de la Devesa han dado el aviso de incendio con antelación al sistema, que en algunas ocasiones el sistema ha posicionado mal los incendios realmente ocurridos, y que el elevado número de alarmas del sistema produce que el usuario final del mismo desconfíe o haga caso omiso de las mismas; cabe plantearse si los costes derivados del sistema no son demasiado elevados para la

eficiencia real que tiene, y por qué se sigue manteniendo el mismo. Además, teniendo en cuenta la actual situación económica, cabe plantearse si hay alternativas que pudieran ser más efectivas en la reducción del número de incendios, con un menor coste para el contribuyente; llevando a cabo análisis más precisos de las necesidades reales por parte de la administración que ahonden en el fin de disminuir los incendios, y no en el mantenimiento en sí de sistemas ya establecidos sin haber sido analizados en profundidad, que corren el riesgo de ser utilizados únicamente como herramienta de promoción política.

V.3. Conclusiones

A la hora de abordar las conclusiones se expone a continuación, bajo la misma estructura que se ha seguido en el desarrollo de la Tesis, el conjunto de conclusiones extraídas de los resultados de forma esquemática, a fin de resumir las mismas.

Así pues, primero se exponen las conclusiones obtenidas del caso de estudio analizado; posteriormente se tabulan las conclusiones extraídas de las aportaciones realizadas al caso de estudio; y finalmente se aportan las conclusiones globales obtenidas de la presente Tesis.

V.3.1 Conclusiones del caso de estudio

1. El elevado número de incendios de origen antrópico, así como su distribución temporal fuera de los meses estivales, sugieren que los planes especiales de prevención de incendios desarrollados en la época estival son efectivos; pero, dada esta efectividad, parece indicado sugerir más esfuerzos en las labores de vigilancia ya que, si bien durante los meses más propensos a la ocurrencia de incendios estos no se disparan, se muestran claras carencias fuera de los meses estivales.
2. Se ha puesto de manifiesto la diferencia que existe entre el nivel de riesgo de incendio de las zonas forestales al uso y el de las zonas de interfaz urbano-forestal. En estas últimas, debido a su mayor explotación antrópica, deben tenerse muy en cuenta las características socio-culturales locales de las urbes que las rodean, para poder obtener un nivel de riesgo de incendio real en las mismas.
3. El buen funcionamiento de la red neuronal ha puesto de manifiesto que este tipo de herramientas pueden ser de especial interés para estudios del presente ámbito; y abre una nueva vía de estudio en aquellas otras zonas de interfaz

urbano-forestal cuya ubicación cercana a grandes núcleos de población requiera de herramientas específicas avanzadas para la predicción de niveles de riesgo.

4. Respecto a las circunstancias meteorológicas que inciden en el riesgo de incendio en la Devesa, se pueden subdividir según si nos centramos en conatos o en incendios forestales:
 - a. Para los conatos se ha comprobado que, debido al elevadísimo porcentaje de incendio de origen antrópico que hay en la zona, el peso real de las condiciones meteorológicas en la probabilidad de incendio es bajo, estando concentrado el peso de la probabilidad de incendio en las variables socio-culturales
 - b. En lo referente a incendios de más de 1 ha se pone de manifiesto que las variables socio-culturales, sin desaparecer su influencia, pierden peso frente a las variables meteorológicas
5. Respecto a la generación de alarmas no reales, se ha comprobado la influencia que tiene sobre las mismas la orientación de las cámaras de vigilancia, el tipo de superficie a vigilar y las variables meteorológicas de radiación y humedad relativa.

V.3.2 Conclusiones a las mejoras del caso de estudio

1. Respecto a las mejoras técnicas:
 - a. Se ha demostrado que las zonas proclives a generar falsos positivos siguen siendo las mismas que en el caso de estudio; lo que conlleva que las mejoras técnicas no absorben por sí solas el fuerte albedo las mismas, siendo sólo evitables mediante filtros que enmascaren esas áreas; y, en consecuencia, dejando de vigilarlas.
 - b. Se ha comprobado cómo, a pesar del aumento de cámaras de vigilancia, siguen sin posicionarse bien los incendios que se dan en zonas que distan más de 2 km de las cámaras.
 - c. Se ha demostrado que un mayor número de cámaras fijas evita la correlación entre el número de alarmas, y la radiación y humedad. Esto se debe a que es más sencillo caracterizar los valores que hacen saltar una alarma si la cámara está fija en un encuadre determinado, que si va variando sus encuadres a lo largo del tiempo.

- d. Se ha puesto de manifiesto que, en el área de estudio, sigue siendo más rápida la detección mediante sistemas tradicionales de vigilancia, o de avisos de vecinos, que mediante este tipo de sistema de detección mediante cámaras infrarrojas.
2. Respecto a las aportaciones metodológicas: se ha demostrado que, conjuntando la clasificación de las alarmas en función del riesgo físico y del nivel de riesgo de incendio que arroja la red neuronal desarrollada al efecto, se es capaz de realizar una clasificación de las mismas en siete niveles de riesgo combinado. Lo cual aumenta significativamente la fiabilidad del sistema de cara al usuario final.

V.3.3 Conclusiones generales

A lo largo de la presente Tesis, se ha ido desarrollando toda una metodología capaz de disminuir muy significativamente el número de alarmas no reales que causa un sistema de vigilancia termográfica contra incendios forestales, sin perder ninguna alarma real.

Para esta metodología, se ha tenido en cuenta que una alarma suelta no debe ser tratada como un conjunto de alarmas agrupadas en el tiempo y en el espacio, a lo cual se le ha llamado suceso; y gracias a la elaboración de este concepto se ha disminuido de forma directa un 36% los falsos positivos.

Por otro lado, se ha demostrado que este tipo de sistemas de detección de incendios no deben implantarse sin que previamente se haya realizado un estudio detallado del medio de la zona a vigilar. De este estudio previo, en la presente Tesis, se han utilizado los mapas desarrollados en otros planes de prevención de incendios para caracterizar las diferentes zonas donde se han dado alarmas, ya que resulta evidente que no puede considerarse igual una alarma generada en una duna, que una generada en mitad de una pinada.

Gracias a lo anterior, y al desarrollo de una red neuronal probabilística de incendio forestal en la zona; es decir, con el desarrollo de una herramienta matemática específica para predicción de probabilidades de incendio, se ha podido elaborar un criterio de clasificación de alarmas, en función de riesgos reales, a fin de poder actuar de forma distinta frente a alarmas que tengan importancia distinta.

De todo lo anterior se concluye que este tipo de sistemas de vigilancia, pese a su evidente peso tecnológico, deben ser instalados bajo la supervisión de un gestor de monte o, en su

lugar, de emergencias, a fin de hacer un estudio previo que identifique las áreas de mayores riesgos y que aproveche la cada vez mayor capacidad de computación existente, para desarrollar herramientas como las desarrolladas en la presente Tesis, que sean capaces de predecir la ocurrencia de incendios, y así adelantarse a los mismos.

Por otro lado, cabe decir que estos sistemas de vigilancia, pese al elevado número de falsos positivos que generan, si se les somete a una supervisión específica que enmascare aquellas zonas proclives a generar falsos sucesos, que filtre los sucesos que no lleguen a un mínimo de alarmas y si, además, se hace un calibrado habitual de las cámaras, son capaces de funcionar muy correctamente; de hecho a lo largo del presente estudio se ha visto cómo se pasaba de 13 alarmas de media diaria, a 10 y posteriormente, tras introducir las aportaciones metodológicas, se ha bajado a 6,2. Y, si nos atendemos únicamente a aquellas alarmas dadas en zonas de riesgo físico muy alto en días de riesgo de incendio muy elevado, las alarmas no reales se han disminuido hasta sólo 0,8 alarmas diarias como media. Es más, si se hubiera realizado el calibrado habitual de las cámaras que en la presente Tesis se plantea que debe llevarse a cabo en este tipo de sistemas, se pudiera haber detectado el anormal funcionamiento que tuvo el sistema durante el mes de febrero de 2011. Con lo que la producción de alarmas no reales hubiera sido significativamente inferior.

V.4. Discusión final

Con todo lo visto a lo largo del presente estudio, se puede afirmar que este tipo de sistemas de detección de incendios, si son tratados de la forma adecuada y con las medidas de clasificación de alarmas expuestas a lo largo de la Tesis, constituyen una fuente de información fiable para los gestores de emergencias contra incendios, ofreciendo una respuesta temprana ante incendios de poca superficie. Y si bien en la zona estudiada, dada la escasa superficie del monte y su alto valor ecológico dentro de un Parque Natural protegido en donde además se dan condiciones de interfaz urbano-forestal, un incendio de 1 hectárea conlleva una elevada alarma social, en otro tipo de monte, un incendio de 1 hectárea sigue siendo considerado como un incendio de muy poca envergadura y, como se ha demostrado en la presente Tesis, este tipo de sistemas es capaz de detectar todos aquellos incendios que alcanzan la hectárea de superficie.

Con todo, ¿son válidos estos sistemas de detección de incendios en todas las zonas forestales?

La respuesta no puede ser tan simple como un sí o un no, ya que los incendios forestales son un tipo de emergencia que moviliza gran cantidad de medios de extinción y genera una elevada repercusión social, por lo que dependerá de la zona a vigilar.

En el caso que nos ocupa, el monte estudiado tiene un elevado uso recreativo además de que en el mismo abundan las zonas de interfaz urbano-forestal; todo esto, unido a la enorme expansión que han tenido los dispositivos de telefonía móvil en los últimos años, convierte a todo usuario del monte o vecino de la zona en un vigilante contra incendios en potencia. De hecho, como se ha venido diciendo a lo largo de la Tesis, la gran mayoría de sucesos de incendio estudiados han sido comunicados a los medios de extinción a través de los medios tradicionales de recepción de emergencias, antes que mediante el sistema de vigilancia analizado.

Esto, unido al elevado coste de instalación analizado en el apartado V.2, implica que, tal y como se ha visto, la inversión en este tipo de sistemas en zonas de interfaz urbano-forestal es una inversión poco eficiente. Dada la casuística de estas zonas, resultan mucho más convenientes políticas activas de prevención de incendios, que incluyan planes de gestión del monte y planes de actuación en caso de siniestro en zona de IUF, que políticas pasivas basadas en sistemas de detección.

Sin embargo, este tipo de sistemas analizados sí que podrían constituir un buen sistema de vigilancia en aquellas áreas forestales al uso, que estén poco frecuentadas por la población, y en las cuales un conato de incendio puede darse sin que ningún ciudadano dé aviso del mismo. No obstante, en estas zonas aparece el problema de dónde situar las cámaras de vigilancia en ubicaciones elevadas capaces de vigilar amplias áreas, además de la problemática de cómo llevar corriente eléctrica a las zonas de ubicación elegidas para las cámaras, lo cual encarece ostensiblemente el proyecto de instalación; por lo que vuelve a la palestra el problema económico y la posibilidad de invertir ese dinero en políticas activas de prevención de incendios, que den trabajo a la población local, en lugar de en políticas pasivas de detección mediante alta tecnología.

No obstante, debe irse un paso más allá, y aprovechar el sistema de clasificación de alarmas desarrollado en la presente Tesis, u otros sistemas de clasificación de riesgos desarrollado en otros estudios, para elaborar protocolos de actuación frente a este tipo de alarmas. Es decir, alarmas de nivel de riesgo diferente deben de tener respuestas por parte de

los efectivos de vigilancia diferentes. El tipo de respuesta escapa del objetivo de esta Tesis y vendrá dado por las circunstancias de cada zona vigilada, así como por la disposición de medios y personal que tenga el servicio o servicios encargados de tal labor.

En definitiva, este tipo de sistemas de detección de incendios, que conllevan tanto un elevado coste de instalación como de mantenimiento, deben ser instalados estrictamente bajo criterios de disminución de riesgo de incendio, debiéndose haber llevado a cabo previamente un estudio del medio y del histórico de incendios, para determinar aquellas zonas que conllevan un mayor peligro y, por tanto, que deben ser más vigiladas. Y, a su vez, deben de ir acompañados tanto de planes de prevención de incendios, como de protocolos de intervención; esto es, deben formar parte del conjunto de herramientas utilizadas para disminuir el riesgo de incendio en la zona vigilada; debiéndose evitar que estos sistemas tecnológicos se conviertan en fines en sí mismos.

V.5. Futuras líneas de investigación

La predicción de niveles de riesgo de incendio en zonas específicas de interfaz urbano forestal es un campo en donde se ha abierto una gran vía de investigación. Por un lado, debe estudiarse qué otros inputs, además de los utilizados en la presente Tesis, pueden utilizarse como válidos para la estimación del nivel de riesgo de incendio, como pudieran ser la intensidad de tráfico en las carreteras aledañas a la zona a vigilar, o el consumo de agua o de electricidad de las viviendas situadas en las zonas de interfaz; factores estos que supondrían un dato fehaciente del nivel de presión antrópica que está sufriendo la zona vigilada.

Otra vía para el desarrollo es el cambio de clasificación de la variable temporal. En las redes neuronales desarrolladas se ha utilizado el valor mensual; sin embargo este input le da la misma importancia tanto al primer día como al último de cada mes, y no distingue entre las diferentes variables socio-culturales que pueda haber a lo largo del mes; como pudiera ser el fin del uso intensivo de fuegos artificiales y petardos en la zona estudiada una vez pasado el 19 de marzo, fecha de finalización de las Fallas valencianas. Como sustitución de esta variable mensual, puede analizarse si el sistema de clasificación en días julianos responde de forma más adecuada.

Por otro lado, resulta evidente que el sistema de redes neuronales empleado no puede ser un sistema estático, sino que debe autoalimentarse a lo largo del tiempo, incluyendo los nuevos datos diarios a la red, a fin de que cada vez ésta tenga más valores y ajuste con mayor

precisión sus resultados. Para ello es necesario el desarrollo computacional de modelos de autoaprendizaje de las redes.

Finalmente respecto a las cámaras termográficas, se ha demostrado que su adecuada distribución evita la correlación de las alarmas que genera con las variables meteorológicas, sin embargo sigue siendo necesario un desarrollo tecnológico capaz de evitar que se produzcan alarmas en zonas de albedo, sin tener que recurrir al sistema de enmascaramiento de las mismas.

Capítulo VI Referencias



Capítulo VI: Referencias

- ADELI, H., PANAKKAT, A. (2009). A probabilistic neural network for earthquake magnitude prediction. *Neural Networks* 22 (2009) 1018-1024
- ALBINI, F.A. 1976. Estimating wildfire behavior and effects. *USDA Forest Service General Technical Report*. INT-30.
- ALEXANDRE, A., CUADRA, L., ALVAREZ, L., ROSA-ZURERA, M., LOPEZ-FERRERAS, F. (2008). Two-layer automatic sound classification for conversation enhancement in hearing aids. *Integrated Computer-Aided Engineering*, 15(1), 85-94.
- ALONSO-BETANZOS A., FONTENLA-ROMERO O., GUIJARRO-BERDIÑAS B., HERNÁNDEZ-PEREIRA E., PAZ ANDRADE M. I., JIMÉNEZ E., LEGIDO SOTO J.L., CARBALLAS T. (2003) An intelligent system for forest fire risk prediction and firefighting management in Galicia. *Expert Systems with Applications* 25, 545–554
- ANTROP, M. (2004) Landscape change and the urbanization process in Europe. *Landscape and Urban Planning* 67. 9-26.
- ARNALDOS, J, E. PASTOR, E. PLANAS, L. ZARATE, X. NAVALÓN. (2004): Manual de ingeniería básica para la prevención y extinción de incendios forestales. *Mundi-Prensa*. Madrid
- ARRUE, B.C., A. OLLERO, Y J.R. MATINEZ DE DIOS. 2000. An intelligent system for false alarm reduction in infrared forest-fire detection. *IEEE Intelligent Systems and their Applications* 15 (3): 64-73.
- ASCE, T C. (2000). Artificial neural networks in hydrology. i: Preliminary concepts. *Journal of Hydrologic Engineering* 5, 115-123.
- ASLAN, YUNUS EMRE, IBRAHIM KORPEOGLU, Y ÖZGÜR ULUSOY. (2012) A framework for use of wireless sensor networks in forest fire detection and monitoring. *Computers, Environment and Urban Systems* 36 (6): 614-625.
- BASSI, S.; KETTUNEN, M. (2008). Forest fires: causes and contributing factors in Europe. *London: Policy Department Economic and Scientific Policy, JIP/A/ENVI/ST/2007-15*. 49 p.

- BERNABEU, P. A. (2002): Nuevos esquemas de detección distribuida basados en el uso de predicción no lineal: Aplicación a la detección de incendios en grandes áreas. *Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Valencia.*
- BOSCH, I. (2005): Algoritmos de detección distribuida en Sistemas Monosensor. *Tesis Doctoral Universidad Politécnica de Valencia.*
- BOSENBERG, J., D. BRASSINGTON, P. C. SIMON. (1997). Instrument Development for Atmospheric Research and Monitoring. *Berlin: Springer.*
- BROWN, A.A., DAVIS, K.P. (1973): Forest fire. Control and use. *New York, Mac Graw Hill.*
- BURGÜI, M.; HERSPERGER, A.M.; SCHNEEBERGER, N. (2004). Driving forces of landscape change – current and new directions. *Landscape Ecology* (19). Pp. 857–868.
- CABALLERO, D., XANTHOPOULOS, G., KALLIDROMITOU, D., LYRINTZIS, G., BONAZOUNTAS, M., PAPACHRISTOU, P., PACIOS, O. (1999). Fomfis: forest fire management and fire prevention system. *Proceedings of the International Symposium on Forest Fires: Needs and Innovations*, 93–98.
- CALEF, M.P.; MCGUIRE, A. D.; CHAPIN, F.S. (2008). Human Influences on Wildfire in Alaska from 1988 through 2005: An Analysis of the Spatial Patterns of Human Impacts. *Earth Interactions* (12). Pp. 1-17.
- CAMIA, A. AMATULLI, G. SAN-MIGUEL-AYANZ, J. (2008). Past and Future Trends of Forest Fire Danger in Europe. *Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities.* EUR 23427 EN. 9 p.
- CANADA, FORESTRY CANADA, F.D.G.C., (1992). Development and structure of the Canadian forest fire behavior prediction system. *Information Report STX-3, Forestry Canada, Science and Sustainable Development Directorate, Ottawa.*
- CANALES (2010). Sucesos estocásticos en la detección mediante Sistemas Inteligentes de Detección Térmica de Incendios Forestales y su análisis mediante Redes Neuronales Artificiales. *Tesina Fin de Master. Universidad Politécnica de Valencia.*

CARDILLE, J.A.; VENTURA, S.J.; TURNER, M.G. (2001). Environmental and Social Factors Influencing Wildfires in the Upper Midwest, United States. *Ecological Applications* (11) 1. Pp. 111-127.

CATRY, F.X., ALMEIDA, R.M. Y REGO, F.C. (2004): Produção de cartografia de visibilidades para Portugal Continental. A importância da sua utilização na vigilância contra incêndios florestais, *Silva Lusitana*, 12, 2, pp. 227- 241.

CLARK, K. L., N. SKOWRONSKI, J. HOM, M. DUVENECK, Y. PAN, S. VAN TUYL, J. COLE, M. PATTERSON, S. MAURER. (2009). Decision support tools to improve the effectiveness of hazardous fuel reduction treatments in the New Jersey Pine Barrens. *International Journal of Wildland Fire* 18 (3): 268-277.

CLEAVES, D. (2001). Fires in the wildland urban interface: dilemmas of duality and the role of national science leadership. *Natural Disasters Roundtable*. Washington DC. January 26, 2001. 15 p.

COLLINS, T.W. (2005). Households, forests, and fire hazard vulnerability in the American West: A case study of a California community. *Environmental Hazards* (6). Pp. 23–37.

CHANDLER, C., CHENEY, P., THOMAS, P., TRABAUD, L., WILLIAMS, D. (1983). Detection. *Fire in forestry. Forest fire management and organization*. New York John, Wiley & Sons, Inc, pp. 69-73.

CHEN, K., MCANENEY, J. (2004). Quantifying bushfire penetration into urban areas in Australia. *Geophysical research letters* (31). L12212. 4p.

CHEN, T., PING-HSUEH W., YUNG-CHUEN C. (2004). An early fire-detection method based on image processing. *International Conference on Image Processing*, 2004. ICIP '04, 3:1707-1710 Vol. 3.

CHUVIECO E, SALAS J, CARVACHO L, RODRÍGUEZ-SILVA F. (1999) Integrated fire risk mapping. Remote sensing of large wildfires in the European Mediterranean Basin. *Springer-Verlag*, Berlin

DAVIS, J. B. (1990). The wildland-urban interface: paradise or battleground?. *Journal of forestry* (6) 88. Pp. 26-31.

DAVIS, K.P., BYRAM, G.M. KRUMM, W.R. (1959). Forest fire. Control and use, New York, *John Wiley & Sons*, Inc.

DECRETO 163/1998, de 6 de octubre, del Gobierno Valenciano, por el que se aprueba el Plan Especial frente al riesgo de Incendios Forestales en la Comunidad Valenciana.

DEL RÍO, J, M. T. MOMPÍN, J. A. GARCÍA. (2007) Contributions to the calculation of the smoke detection distance of the watchtowers wildfire. *Geofocus: International Review of Geographical Information Science and Technology*.

DÍAZ-DELGADO, R.; LLORET, F.; PONS, X. (2004). Spatial patterns of fire occurrence in Catalonia, NE, Spain. *Landscape Ecology* (19). Pp. : 731–745.

DÍAZ-RAMÍREZ, A., TAFOYA L., ATEMPA J., MEJÍA-ALVAREZ P. (2012). Wireless Sensor Networks and Fusion Information Methods for Forest Fire Detection. *Procedia Technology* 3: 69-79.

DIMUCCIO LA, FERREIRA R, CUNHA L (2006) Aplicação de um modelo de redes neuronais na elaboração de mapas de susceptibilidade a movimentos de vertente. Um exemplo numa área a Sul de Coimbra (Portugal Central). *II Congresso Nacional de Geomorfologia – Geomorfologia, Ciencia e Sociedade'*, pp. 281–289. (Associação Portuguesa de Geomorfólogos (APGeom): Coimbra, Portugal)

DOCAVO, I. (1977): Los Parques Naturales y otros espacios protegidos. *Conferencia pronunciada en el "Curso sobre la Gestión del Medio Ambiente en la Región Valenciana"*. Valencia

DOOLIN, D. M., N. SITAR. (2005). Wireless sensors for wildfire monitoring. *Smart Structures and Materials* (pp. 477-484). International Society for Optics and Photonics.

EEA. ENVIRONMENTAL EUROPEAN AGENCY. (2006). Urban sprawl in Europe. The ignored challenge. *Copenhagen: EEA Technical report*. No 10/2006. 60p.

EGAN, .F.; LULOFF, A.E. (2000). The exurbanization of America's forests. *Journal of Forestry* (98)3. Pp. 26-30.

ESPINOZA RODRÍGUEZ, C. A. (2010). Predicción a corto plazo de la demanda de agua urbana en áreas densamente pobladas. *Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Valencia*.

- FAO, (2001): Cap 6.1. Detección. *Guide Technique International Protection des foret contre l'indencie. Fuches techniques pour les pays du basin Mediterranean*, Roma, Food and Agriculture Organization of the United Nations, pp. 71-76.
- FAO. (2007). Fire management global assessment 2006. Rome, Italy: Food and Agriculture Organization of the United Nations. *FAO Forestry Paper* 151. 121 p.
- FERNANDES, A M., UTKIN A., LAVROV A., VILAR R. (2004). Development of neural network committee machines for automatic forest fire detection using lidar. *Pattern Recognition* 37 (10): 2039-2047.
- FERNÁNDEZ-BERNI, J., R. CARMONA-GALÁN, J. F. MARTÍNEZ-CARMONA, A. RODRÍGUEZ-VÁZQUEZ. (2012). Early forest fire detection by vision-enabled wireless sensor networks. *International Journal of Wildland Fire* 21 (8): 938-949.
- FIERENS, P. I. 2009. Number of sensors versus time to detection in wildfires. *International Journal of Wildland Fire* 18 (7): 825-829.
- FIREWATCH. (2013). Accedido abril 15. <http://www.fire-watch.de/>.
- FLEMING, J., R. G. ROBERTSON. (2003) Fire Management Tech Tips: The Osborne Fire Finder. *SDTDC, USDA Forest Service*.
- FLANNIGAN, M.D.; AMIRO, B.D.; LOGAN, K.A.; STOCKS, B.J.; WOTTON, B.M. (2005). Forest fires and climate change in the 21st century. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* (11). Pp. 847-859.
- FRANKLIN, W.M., (2000): Approximating visibility, *Proceedings of the 1st International Conference on Geographic Information Science*, 28-31 October, Savannah, Georgia, USA.
- GARCÍA BARTUAL, R. (2002): *Short term river flow forecasting with neural networks. Biennial meeting of the International Environmental Modeling and Software Society: Integrated assessment and decision support*—Vol. 2. Lugano (Suiza)
- GARCÍA BARTUAL, R. (2005). Redes neuronales artificiales en ingeniería hidráulica y medio ambiental, fundamentos. *Libro de apuntes de la asignatura de Redes Neuronales Artificiales en ingeniería hidráulica y medio ambiental. Doctorado. Universidad Politécnica de Valencia*.

GONZALO, J.; CRUZ, J. M.; DOMÍNGUEZ, I.; (2007). Plataformas Aerostáticas para la Monitorización de Incendios. *Actas de la IV Conferencia Internacional sobre Incendios Forestales*, Op. Cit.

HANTSON, S, M. PADILLA, D. CORTI, E. CHUVIECO. (2013). Strengths and weaknesses of MODIS hotspots to characterize global fire occurrence. *Remote Sensing of Environment* 131: 152-159.

HEALEY, G., D. SLATER, T. LIN, B. DRDA, A.D. GOEDEKE. (1993) A system for real-time fire detection. *IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 1993. Proceedings CVPR '93*, 605-606.

HEFEEDA, M. M. BAGHERI. (2009). Forest fire modeling and early detection using wireless sensor networks. *Ad Hoc & Sensor Wireless Networks* 7 (3-4): 169–224.

HENDERSON, S. B., ICHOKU C., B. J. BURKHOLDER, M. BRAUER, P. L. JACKSON. (2010). The validity and utility of MODIS data for simple estimation of area burned and aerosols emitted by wildfire events. *International Journal of Wildland Fire* 19 (7): 844-852.

HERRERO, G.; 2011. Las interfaces urbano-forestales como territorios de riesgo frente a incendios: análisis y caracterización regional en España. *Tesis Doctoral. Universidad Autónoma Madrid*.

HULL, R.B.; STEWART, S.I. (2003). Social Consequences of Change. Macie, E.; Hermansen, L.A. (ed.). Human influences on Forest Ecosystems. *Asheville: Southern Research Station. U.S. Department of Agriculture*. Pp.115-129.

IGLESIAS, J., VILLA, A. E. P. (2008). Emergence of preferred firing sequences in large spiking neural networks during simulated neuronal development. *International Journal of Neural Systems*, 18(4), 267 277.

JELALIAN, A. V. (1992). Laser Radar Systems. *Boston: Artech House*.

JOHNSON, M.P. (2001). Environmental impacts of urban sprawl: a survey of the literature and proposed research agenda. *Environment and Planning* (33). Pp. 717- 735.

- JORGENSEN, T. D., HAYNES, B. P., & NORLUND, C. C. F. (2008). Pruning Artificial Neural Networks using neural complexity measures. *International Journal of Neural Systems*, 18(5), 389-403.
- KHAN, J. F., MOHAMMAD S ALAM, S. M A BHUIYAN. (2009). Automatic Target Detection in Forward-Looking Infrared Imagery via Probabilistic Neural Networks. *Applied Optics* 48 (3): 464-476.
- KHASHMAN, A., SEKEROGLU, B. (2008). Document image binarisation using a supervised neural network. *International Journal of Neural Systems*, 18(5), 405-418.
- KROTT, M. (2012). Value and risks of the use of analytical theory in science for forest policy. *Forest Policy and Economics*, 16, 35-42.
- KRSTINIC, D., STIPANICEV D., JAKOVCEVIC T. (2009) Histogram-Based Smoke Segmentation in Forest Fire Detection System. *Information Technology and Control* 38 (3): 237-244.
- LAMPIN-MAILLET, C. (2009). Caractérisation de la relation entre organisation spatiale d'un territoire et risque d'incendie: le cas des interfaces habitat-forêt du sud de la France. Directores : FERRIER, J.P. ; JAPPIOT, M. *Université de Provence-Aix Marseille. UFR des sciences géographiques et de l'aménagement.*
- LAVALLE, C., MICALE, F., HOUSTON, T.D., CAMIA, A., HIEDERER, R., LAZAR, C., CONTE, C., AMATULLI, G., GENOVESE, G. (2009). Climate change in Europe. 3. Impact on agriculture and forestry. *Agronomy for Sustainable Development*. (29)3. p. 433-446.
- LAVROV, A P., VILAR. R. (1999). Application of lidar at 1.54 μm for forest fire detection: *Proc. SPIE 3868, Remote Sensing for Earth Science, Ocean, and Sea Ice Applications*, 473.
- LEONE, V.; LOVREGGIO, R.; MARTIN, M.P.; MARTINEZ, J. VILAR, L. (2009). Human factors of fire occurrence in the Mediterranean. *Earth Observation of Wildland Fires in Mediterranean Ecosystems*. Dordrecht: Springer. Pp. 149-170.
- LEVY, J.; LUSSAULT, M. (2003). Dictionnaire de la géographie et de l'espace des sociétés. París: Belin. 1033 p.

- LINO RAMIREZ, C. (2012). Diseño de una arquitectura para redes de sensores con soporte para aplicaciones de detección de eventos [Tesis doctoral no publicada]. *Universitat Politècnica de València*
- LIU, C., AHUJA, N. (2004). Vision based fire detection. *Proceedings of the 17th International Conference on Pattern Recognition, 2004*. ICPR 2004, 4:134-137 Vol.4.
- LLORET, J.. (2009). A Wireless Sensor Network Deployment for Rural and Forest Fire Detection and Verification. *Sensors* 9 (11): 8722-8747.
- LOWE, D.; TIPPING; M. (1996): Feed-Forward Neural Networks and Topographic Mappings for Exploratory Data Analysis. *Neural Computing Research Group*. Aston.
- LYNCH, K. (2005). Rural-Urban Flows: Conceptualizing the relationship between the city and the countryside in the developing world. *Emerging Issues along Urban/Rural Interfaces: Linking Science and Society Conference proceedings*. Atlanta: March 13-16, 2005.
- MACIE, E. A. L. A. HERMANSEN, (2002). Human influences on forest ecosystems: the southern wildland-urban interface assessment. *General Technical Report. SRS-55. Asheville, North Carolina: US Department of Agriculture, Forest Service, Southern Research Station*. 159 p.
- MAGRAMA (2014) Evaluación Preliminar de los Impactos en España por Efecto del Cambio Climático - *Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (PNACC) - Impactos, vulnerabilidad y adaptación - Cambio climático - magrama.es*. (s. f.). Recuperado 22 de octubre de 2014, a partir de http://www.magrama.gob.es/es/cambio-climatico/temas/impactos-vulnerabilidad-y-adaptacion/plan-nacional-adaptacion-cambio-climatico/evaluacion-preliminar-de-los-impactos-en-espana-del-cambio-climatico/eval_impactos.aspx
- MARTÍNEZ, J., VEGA-GARCÍA, C., CHUVIECO, E. (2008). Human-caused wildfire risk rating for prevention planning in Spain. *Journal of Environmental Management* (90). Pp. 1241–1252.
- MCCULLOCH, W. S., PITTS, W. (1943). A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity. *The bulletin of mathematical biophysics*, 5(4), 115-133.

MEASURES, R.M. (1984). *Laser Remote Sensing*. New York: Wiley.

MERMOZ, M.; KITZBERGER, T.; VEBLÉN, T.T. (2005). Landscape influences on occurrence and spread of wildfires in Patagonian forests and shrublands. *Ecology* (86). pp. 2705–2715.

MILLINGTON, J. ROMERO-CALCERRADA, R. WAINWRIGHT, J. PERRY, G. (2008). An Agent-Based Model of Mediterranean Agricultural Land- Use/Cover Change for Examining Wildfire Risk. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation* vol. 11, Nº 4 (4). <http://jasss.soc.surrey.ac.uk/11/4/4.html>

MODIS Website. 2013. Accedido abril 10. <http://modis.gsfc.nasa.gov/>.

MODUGNO, S; SERRA, P. BADIA, A. (2008). Dinámica del riesgo de ignición en un área de interfase urbano-forestal. *Tecnologías de la Información Geográfica para el Desarrollo Territorial. Las Palmas de Gran Canaria: Servicio de Publicaciones y Difusión Científica de la ULPGC*. Pp. 650-659.

MONROE, M. C., L.W. MCDONELL, L. A. HERMANSEN-BÁEZ,. (2006). Changing roles: wildland-urban interface professional development program. *Gainesville, Florida: University of Florida*.

MONROE, M.L.; BOWERS, A.W.; HERMANSEN, L.A. (2003). The moving edge: Perspectives on the Southern Wildland-Urban Interface. Asheville: Southern Research Station. *U.S. Department of Agriculture. General Technical Report SRS-63*. 41p.

MONTIEL MOLINA C., SOLANA GÓMEZ J., HERRERO CORRAL G. (2009): Sistemas de detección de incendios en España. *Revista Montes* Nº 98, pp. 89-95

MOREIRA, C.; CASTRO, J.P.; AZEVEDO, J. (2008). Landscape Change in a Mountainous Area in Northeastern Portugal: Implications for Management. *WSEAS International Conference on URBAN planning and transportation (UPT'07)*. Crete Island, Greece: July 22-24, 2008.

MOREIRA, F.; REGO, F.C.; FERREIRA, P.G.(2001). Temporal (1958–1995) pattern of change in a cultural landscape of northwestern Portugal: implications for fire occurrence. *Landscape ecology* (16). Pp. 557- 567.

MORENO, J.M. (2005). Impactos sobre los riesgos naturales de origen climático. Riesgo de incendios forestales. Evaluación preliminar de los impactos en España por efecto del cambio climático. *Madrid: Ministerio de Medio Ambiente*. p. 581-615.

MORENO, J.M. (2007). Cambio Global e Incendios Forestales: Una Visión desde España. *Actas de la IV Conferencia Internacional sobre Incendios Forestales*. Sevilla: 13-17 Mayo, 2007. Madrid: Organismo Autónomo de Parques Nacionales, Ministerio de Medio Ambiente (CD-ROM).

MUTCH, R.W. ROGERS, M. J. STEPHENS, S. L. GILL, A.M. (2010). Protecting Lives and Property in the Wildland–Urban Interface: Communities in Montana and Southern California Adopt Australian Paradigm. *Fire Technology*. Vol 47 (2). P. 357-377.

NOWAK, D.J. WALTON, J.T. DWYER, J.F. KAYA, L.G. MYEONG, S. (2005). The increasing influence of urban environments on US Forest management. *Journal of Forestry* (103). Pp. 377-382

OLLERO, A., B. C. ARRUE, J. R. MARTINEZ, J. J. MURILLO. (1999). Techniques for reducing false alarms in infrared forest-fire automatic detection systems. *Control Engineering Practice* 7 (1): 123–131.

OLLERO, A.; MARTÍNEZ DE DIOS, J. R.; MERINO, L.; CABALLERO, F.; VIEGAS, D. X.; (2007). Sistema basado en el empleo de vehículos aéreos no tripulados para la lucha contra incendios forestales. *Actas de la IV Conferencia Internacional sobre Incendios Forestales*, Op. Cit.

PARC NATURAL DE L'ALBUFERA : PREVENCIÓ D'INCENDIS FORESTALS. (2014).

http://www.112cv.com/prevencion/guatlla30/areas/estado/bosques/planes_incendios_parquas/ALBUFERA/inicio/castellano/frame.htm.

PAVEGLIO, T.B.; JAKES, P.J.; CARROLL, M.S.; WILLIAMS, D.R. (2009). Understanding Social Complexity Within the Wildland–Urban Interface: A New Species of Human Habitation?. *Environmental Management*, 43. p. 1085–1095.

PEÑA, J. BONET, A. BELLOT, J. SÁNCHEZ, J.R. EISENHUTH, D. HALLETT, S. (2007). Driving forces of land use change in a cultural landscape of Spain. *Modelling Land-Use Change*. (s.l.) Springer p. 97–115.

PÉREZ, R., VENTOSA C., VILLALBA D. (2007) Optimización de sistemas de detección. *Actas de la IV Conferencia Internacional sobre Incendios Forestales*, Op. Cit.

PETERSON, D., J. WANG. (2013). A sub-pixel-based calculation of fire radiative power from MODIS observations: 2. Sensitivity analysis and potential fire weather application. *Remote Sensing of Environment* 129 : 231-249.

PHILLIPS III, W. MUBARAK S. DA VITORIA L. (2002). Flame recognition in video. *Pattern Recognition Letters* 23 (1–3): 319-327.

PLATT, R. V., SCHOENNAGEL, T., VELEN, T. T., SHERRIFF, R. L. (2011). Modeling wildfire potential in residential parcels: A case study of the north-central Colorado Front Range. *Landscape and Urban Planning*, 102(2), 117-126.

QUILEZ, R., KINDELÁN F. (2011) Manual Curso Avanzado de Extinción de Incendios forestales. Generalitat Valenciana.

RADELOFF, V. C.; HAMMER, R. B. ; STEWART, S. I.; FRIED, J. S.; HOLCOMB, S. S.; MCKEEFRY, J. F. (2005). The wildland urban interface in the United States. *Ecological Applications* 15 (3). Pp. 799-805.

RAMACHANDRAN, CHANDRASEKAR, S. M., MOHAMMAD S. O. (2008) A Probabilistic Zonal Approach for Swarm-Inspired Wildfire Detection Using Sensor Networks. *International Journal of Communication Systems* 21 (10): 1047–1073.

REGO, F.C., CATRY, F.X., MAIA, M.J., SANTOS, T.A., GRAVATO, A., CASTRO, I.C., MOREIRA, F.O., PINTO, P.R. ALMEIDA, J. (2004): Analysis of the National Lookout Towers Network. *Project Final Report*.

RIGGAN, P., J.W. HOFFMAN. (2003) FireMapper™: a thermal-imaging radiometer for wildfire research and operations *IEEE Aerospace Conference, 2003. Proceedings*, 4:4_1843-4_1854.

RIGGAN, P. J., R. G. TISSELL, J. W. HOFFMAN. (2003). Application of the FireMapper™ Thermal-Imaging Radiometer for Wildfire Suppression. *IEEE Aerospace Conference Proceedings*, Vols 1-8, 1863-1872.

RIGOLOT, E. (2009). Perspectives : incendies et changement climatique. *Forêt - entreprise (185)*. Pp. 47-48.

RODRÍGUEZ D.A. (1996): Incendios Forestales. Mundi-Prensa. México D. F.

RODRIGUEZ, N., G. BISTUÉ, E. HERNANDEZ, D. EGURROLA. (2000). GSM front-end to forest fire detection. *IEEE International Symposium on Technology and Society, 2000*. University as a Bridge from Technology to Society, 133-136.

ROMERO-CALCERRADA, R.; BARRIO-PARRA, F.; MILLINGTON, J.D.A.; NOVILLO, C.J. (2010). Spatial modelling of socioeconomic data to understand patterns of human-caused wildfire ignition risk in the SW of Madrid (central Spain). *Ecological Modelling (221)*. Pp. 34–45.

ROTHERMEL, R.C. 1972. A mathematical model for predicting fire spread in wildland fuels. *USDA Forest Service Research Paper*. INT-115

RUBIO, J.L.; ANDREU, V.; SANCHIS E. (1998): Los suelos de la Devesa de la Albufera. *Revista Valenciana de Estudios Autonómicos* Nº 22

RUIZ, E.M. (2000): “Detección”. En “La defensa contra incendios forestales. Fundamentos y experiencias”, Velez (2000) Madrid, McGraw-Hill, pp. 17.1-17.9.

RUIZ-PINALES, J., JAIME-RIVAS, R., LECOLINET, E., & CASTRO-BLEDA, M. J. (2008). Cursive word recognition based on interactive activation and early visual processing models. *International Journal of Neural Systems*, 18(5), 419-431.

RUMELHART, D. E., G. HINTON, AND R. J. WILLIAMS (1986). Learning internal representations by error propagation. MIT Press 1, 318-362.

SADJADI, F. A. (2004). Infrared Target Detection with Probability Density Functions of Wavelet Transform Subbands. *Applied Optics* 43 (2): 315-323.

SAKR, G. E., ELHAJJ, I. H., MITRI, G. (2011). Efficient forest fire occurrence prediction for developing countries using two weather parameters. *Engineering Applications of Artificial Intelligence* 24

SAN MIGUEL, J.; CAMIA, A.(2009). Forest fires at a glance: facts, figures and trends in EU. Living with wildfires: what science can tell us: a contribution to the Science-Policy dialogue. *European Forest Institute Discussion Paper* 15. Pp. 11-18.

- SAN-MIGUEL-AYANZ, J., BARBOSA, P., SCHMUCK, G., SCHULTE, E., & BARISISCH, A. (2001). European forest fire risk assessment and burnt area mapping. *Proceedings of the International Conference Forest Fires*
- SAN-MIGUEL-AYANZ, J., N. RAVAIL, V. KELHA, A. OLLERO. (2005). «Active Fire Detection for Fire Emergency Management: Potential and Limitations for the Operational Use of Remote Sensing. *Natural Hazards* 35 (3): 361-376.
- SECF, (2005): Diccionario forestal; Mundi-Prensa Libros. ISBN: 8484761894.
- SERRA, P.; PONS, X.; SAURI, D. (2008). Land-cover and land-use change in a Mediterranean landscape: A spatial analysis of driving forces integrating biophysical and human factors. *Applied Geography* (28). Pp. 189–209.
- SERVICIO PREVENCIÓN, EXTINCIÓN DE INCENDIOS Y SALVAMENTO. (2013). Protocolo de actuación municipal ante el riesgo de incendios forestales en el Saler. *Ayuntamiento de Valencia. Valencia.*
- SISTEMA BOSQUE. 2013. Accedido abril 15.
http://www.dcomg.upv.es/~chernan/sistema_integral/incendios/Bosque.htm.
- SLUITER, R.; DE JONG, S.M. (2007). Spatial patterns of Mediterranean land abandonment and related land cover transitions. *Landscape Ecology* (22). Pp.559–576.
- SPECHT, D. (1990). Probabilistic neural networks. *Neural networks*, 3(1), 110-118.
- STEELE, TW, JC STIER. (1998) An Economic Evaluation of Public and Organized Wildfire Detection in Wisconsin. *International Journal of Wildland Fire* 8 (4): 205-215.
- STIPANIČEV, D., ŠTULA, M., KRSTINIĆ, D., ŠERIĆ, L., JAKOVČEVIĆ, T., & BUGARIĆ, M. (2010). Advanced automatic wildfire surveillance and monitoring network. *VI International Conference on Forest Fire Research* (pp. 15-18).
- STOCKS, B. J., LYNHAM, T. J., LAWSON, B. D., ALEXANDER, M. E., WAGNER, C. V., MCALPINE, R. S., DUBE, D. E. (1989). Canadian forest fire danger rating system: an overview. *The Forestry Chronicle*, 65(4), 258-265.

- SYPHARD, A.D.; CLARKE, K.C. FRANKLIN, J. (2007). Simulating fire frequency and urban growth in southern California coastal shrublands, USA. *Landscape Ecology* (22). Pp. 431–445.
- THOMPSON, M. P., CALKIN, D. E. (2011). Uncertainty and risk in wildland fire management: a review. *Journal of Environmental Management*, 92(8), 1895-1909.
- TOREYIN, B.U., A.E. CETIN. (2008) Computer vision based forest fire detection. *Signal Processing, Communication and Applications Conference, 2008. SIU 2008. IEEE 16th*, 1-4.
- TURNER, M.; ROMME, W. (1994). Landscape dynamics in crown fire ecosystems. *Landscape ecology* (9). Pp. 59-77.
- USDA-USDI. (2001). Urban wildland interface communities within vicinity of Federal lands that are at high risk from wildfire. *Federal Register* (66). Pp. 751-777.
- US DEPARTMENT OF COMMERCE, NOAA. (2013). Hazard Mapping System Fire and Smoke Product *Satellite Services Division - Office of Satellite Data Processing and Distribution*. <http://www.osdpd.noaa.gov/ml/land/hms.html>.
- UTKIN, A. B., A. V. LAVROV, L. COSTA, F. SIMÕES, R. VILAR. (2002). Detection of Small Forest Fires by Lidar. *Applied Physics B* 74 (1): 77-83.
- VAKALIS, D., SARIMVEIS, H., KIRANOUDIS, C.T., ALEXANDRIDIS, A., BAFAS, G., (2004a). A GISbased operational system for wildland fire crisis management I. Mathematical modelling and simulation. *Applied Mathematical Modelling* 28 (4), 389e410.
- VAKALIS, D., SARIMVEIS, H., KIRANOUDIS, C.T., ALEXANDRIDIS, A., BAFAS, G., (2004b). A GISbased operational system for wildland fire crisis management II. System architecture and case studies. *Applied Mathematical Modelling* 28 (4), 411e425.
- VAN NEST, T., ALEXANDER, M., (1999). Systems for rating fire danger and predicting fire behavior used in Canada. *Invited Paper Presented at the National Interagency Fire Behavior Workshop*.
- VAN WAGNER C. E. (1974). Structure of the Canadian forest fire weather index. *Canadian Department of Environment. Canadian Forest Service Publication* 133

VAN WAGNER, C., (1987). Development and structure of the Canadian forest fire weather index system. *Forestry Technical Report 35*, 37 pp.

VAN WAGNER, C., PICKETT, T., (1985). Equations and FORTRAN program for the Canadian Forest Fire Weather Index System. *Forestry Technical Report 33*

VASCONCELOS MJP, SILVA S, TOME M, ALVIM M, PEREIRA JMC (2001) Spatial prediction of fire ignition probabilities: comparing logistic regression and neural networks. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*. 67(1):73–81

VASILAKOS C, KALABOKIDIS K, HATZOPOULOS J, KALLOS G, MATSINOS J (2007) Integrating new methods and tools in fire danger rating. *International Journal of Wildland Fire* 16(3):306–316.

VAUX, H. J. (1982). Forestry's hotseat: the urban/forest interface". *American Forests* (88)5. Pp 36–46.

VEGA-GARCÍA C, LEE B, WOODDARD PM, TITUS SJ (1996) Applying neural network technology to humancaused wildfire occurrence prediction. *Artificial Intelligence Applications* 10(3):9–18

VÉLEZ, R. (2000): La defensa contra incendios forestales. Fundamentos y experiencias, Madrid, McGraw-Hill

VÉLEZ, R. (2009). Los factores causantes: las fuerzas y cambios sociales y económicos. Convivir con los incendios forestales: lo que nos revela la ciencia. Finland: *EFI Discussion Paper* (15). Pp. 23-27.

VICENTE J, P. GUILLEMANT. (2002). An image processing technique for automatically detecting forest fire. *International Journal of Thermal Sciences* 41 (12): 1113-1120

VICTORIAN BUSHFIRES ROYAL COMMISSION. (2010). Final report on the 2009 Victorian bushfires. Parliament of Victoria, Australia. 52 p.

VIEDMA, O.; ANGELER, D. G.; MORENO, J.M. (2009). Landscape structural features control fire size in a Mediterranean forested area of central Spain. *International Journal of Wildland Fire* (18). Pp. 575–583.

VIEGAS, D.X.; RIBEIRO, LM. VIEGAS, MT; PITA, P.; ROSSA, C. (2009). Impacts of fire on society: Extreme fire propagation issues. *Earth Observation of Wildland Fires in Mediterranean Ecosystems*. Dordrecht. Springer. Pp. 97-109.

VILAR, R., Y A. LAVROV. (2000). Estimation of Required Parameters for Detection of Small Smoke Plumes by Lidar at 1.54 Mm. *Applied Physics B* 71 (2): 225-229.

VILAR, L.; WOOLFORD, D.G.; MARTELL, D.L.; MARTÍN, M.P. (2010). A model for predicting human-caused wildfire occurrence in the region of Madrid, Spain. *International Journal of Wildland Fire* (19). Pp. 325– 337.

WANG, X., G. LV, L. XU. (2012). Infrared dim target detection based on visual attention. *Infrared Physics & Technology* 55 (6): 513-521.

WASSERMAN, P. (1993). *Advanced methods in neural networks*. New York, NY: Van Nostrand Reinhold.

WEIR, J. M. H. E; JOHNSON, A.; MIYANISHI, K. (2000). Fire Frequency and the Spatial Age Mosaic of the Mixed-Wood Boreal Forest in Western Canada. *Ecological Applications*, (10). pp. 1162-1177.

WILDFIRE, 2007.

http://www.wildfire07.es/doc/docFinales/DECLARACION_DE_LA_CONFERENCIA.pdf

Accedido en noviembre de 2014.

WRIGHT, J.G. (1933). Forest-fire hazard tables for mixed red and white pine forests. *Canadian Department of Interior, Forest Service Forest-Fire Hazard Pap.* 3. 20 p.

WRIGHT, J.G. (1937). Preliminary improved fire hazard index tables for pine forests at Petawawa Forest Experiment Station. *Canadian Department of Mines Resources, Dominion Forest Service*.

WRIGHT, J.G., AND H.W. BEALL. (1938). Preliminary improved forest-fire hazard tables for eastern Canada. *Canadian Department of Mines Resources, Dominion Forest Service Forest-Fire Research Note* 5. 42 p.

XANTHOPOULOS, G.; VIEGAS, D.X.; CABALLERO, D. (2009). The fatal fire entrapment of Artemida (Greece) 2007. Recent Forest Fire Related Accidents in Europe. *Italy: JRC Scientific and Technical Reports Series EUR 24121*. Pp. 65-75.

YANG, L., J. YANG, K. YANG. (2004). Adaptive detection for infrared small target under sea-sky complex background. *Electronics Letters* 40 (17): 1083.

YAU, W. C., KUMAR, D. K., ARJUNAN, S. P. (2007). Visual recognition of speech consonants using facial movement features. *Integrated Computer-Aided Engineering*, 14(1), 49-61.

YICK, J., MUKHERJEE, B., GHOSAL, D. (2008). Wireless sensor network survey. *Computer networks*, 52(12), 2292-2330.

YU, L., N. WANG, X. MENG. (2005). Real-time forest fire detection with wireless sensor networks. *International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing*, 2005. Proceedings, 2:1214-1217.

ZHANG, D, RAO Y., ZHAO J., ZHAO J., HU A. BO CAI. (2007). Feature based segmentation and clustering on forest fire video. *IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics, 2007*. ROBIO 2007, 1788-1792.

ZHANG, P., J. LI. (2007). Neural-network-based single-frame detection of dim spot target in infrared images. *Optical Engineering* 46 (7) (julio 1): 076401-076401.

ZICHERMAN, J. (2004). Fire at the Urban Wildland Interface: Performance of California Homes and Buildings. *California Department of Forestry and Fire Protection*. 103 p.

ZIPPERER, W.C.; WU, J.; POUYAT, R.V.; PICKETT, S.T.A. (2000). The application of ecological principles to urban and urbanizing landscapes. *Ecological Applications* (10). Pp 685-688.

Anejos



ANEJO 1:

Resumen de los datos de incendio en la Devesa durante la época
de estudio

FECHA	DIA	H. Detc.	H. Guard	H. Bomb	H. Cont	H. Ext.	1º Información	Tipo Llama	SUPAT (m2)	SUPEX (m2)	DIRV	INTV	G. FOR	G. GENER	BOMBEROS	POLICIA	GCIVIL
13/03/1998	4	1,45	--	1,50	1,50	2,45	Vecinos	1	0	200	--	--	0	0	6	0	0
02/03/1998	7	17,40	17,45	17,45	17,45	18,00	Vecinos	1	20	25	SE	1	2	0	2	0	2
30/09/1998	3	14,25	14,30	--	14,50	14,55	Guardería Forest	1	0	250	W	3	2	0	2	0	0
04/06/1999	5	16,30	16,55	16,45	16,45	16,55	Vecinos	1	50	70	SE	1	1	0	4	3	2
02/12/1999	4	10,45	10,55	11,00	10,50	11,15	Bomberos	1	6	14	--	1	2	3	1	0	0
08/03/2000	3	19,00	19,00	19,30	19,30	20,00	Guardería Forest	2	200	300	0	1	1	0	1	0	0
17/03/2000	5	13,00	13,15	13,10	13,15	15,00	Guardería Forest	2y3	--	5000	SE	2	5	3	3	4	6
17/03/2000	5	19,00	19,00	19,10	19,30	19,45	Guardería Forest	2	30	60	SE	1	2	0	2	2	2
25/04/2000	2	19,00	19,10	19,10	19,15	19,35	Guardería Forest	2	125	125	SE	1	3	1	2	1	2
05/08/2000	6	16,15	16,15	16,30	19,00	21,00	Guardería Forest	2	3000	43000	SE	3	3	2	9***	4	3
12/08/2000	6	12,15	12,20	--	13,30	13,30	Bomberos	1	300	300	SE	1	2	0	2	5	0
17/08/2000	4	19,30	19,30	19,40	19,50	19,50	Guardería Forest	1	20	20	SW	1	3	2	1	2	2
21/08/2000	1	17,45	--	--	18,00	18,10	Bomberos	1	225	225	--	--	--	--	--	--	--
11/09/2000	1	16,40	16,45	16,45	16,55	17,20	Vecinos	2	3	15	SE	1	2	1	2	3	2
20/09/2000	3	16,10	16,20	16,30	17,49	19,45	Guardería Forest	2	28000	28000	W	2	3	0	3	1	1
12/10/2000	4	16,00	16,00	16,13	16,00	17,00	Bomberos	2	40	40	0	0	1	0	2	2	2
27/01/2001	6	18,00	18,05	18,30	--	19,10	Guarderia Forest.	1	150	200	NW	2	2	0	1	0	0
18/03/2001	7	0,45	--	--	--	1,50	Bomberos	--	--	30	--	--	0	0	2	0	0
19/06/2001	2	17,15	17,25	17,20	17,45	18,15	Policia Local	1	3	800	SE	2	2	0	2	2	2
04/07/2001	3	18,20	18,25	18,30	18,35	18,40	Policia Local	1	4	4	0	1	1	1	2	4	3
23/07/2001	1	9,45	9,50	10,00	9,55	10,15	Operario SAV	1	2	8	E	1	1	0	1	0	0
27/08/2001	1	20,00	20,10	20,10	20,15	20,30	Parador Nacional	1	20	20	E	1	3	0	2	4	2
03/09/2001	1	18,30	19,00	18,45	19,30	19,30	Policia Local	1	200	300	SE	3	3	1	2	1	2
23/09/2001	7	16,10	16,15	16,18	16,25	16,35	Vecinos	2	130	150	W	2	3	2	5	3	1
08/02/2002	5	--	--	--	13,40	14,50	--	1y2	--	2000	SE	1	2	0	4	0	0
23/02/2002	6	--	--	--	--	--	Guarderia Forest.	1y2	--	13000	W	1	--	--	--	--	--

FECHA	DIA	H. Detc.	H. Guard	H. Bomb	H. Cont	H. Ext.	1º Información	Tipo Llama	SUPAT (m2)	SUPEX (m2)	DIRV	INTV	G. FOR	G. GENER	BOMBEROS	POLICIA	GCIVIL
22/02/2002	5	13,20	--	--	--	14,05	Policia Local	2	--	150	--	--	--	--	1	2	0
26/02/2002	2	16,20	--	--	--	19,00	Bomberos	1	0	600	--	--	--	--	1	2	0
28/02/2002	4	13,00	--	--	--	13,30	Policia Local	1	--	--	--	--	--	--	0	2	0
28/02/2002	4	18,00	--	--	--	20,45	Guarderia Forest.	1y2	--	40000	W	2	0	0	1	0	0
08/03/2002	5	--	--	--	11,30	13,30	Operario SAV	1	--	2500	0	0	0	0	0	0	0
10/03/2002	7	12,30	--	--	12,30	13,30	--	1	60	70	--	--	2	1	2	2	0
19/06/2002	3	13,30	13,35	13,33	13,40	13,50	Guarderia Forest.	1	5	8	SE	1	2	0	2	0	0
12/08/2002	1	16,30	16,35	16,32	16,45	16,45	Policia Local	1	1	125	SE	2	2	0	4	4	2
01/09/2002	7	18,40	18,55	18,50	19,00	19,21	Policia Local	1	25	30	E	1	2	3	2	4	0
19/10/2002	6	18,30	--	--	--	--	Vecinos	1	1	1	--	--	0	0	1	1	0
01/11/2002	5	17,45	--	--	--	19,20	Policia Local	1	--	3000	--	3	0	0	5	4	0
09/01/2003	4	15,10	15,25	15,20	16,00	16,30	Policia Local	2	150	200	W	1	5	1	3	3	2
09/01/2003	4	18,00	18,05	18,05	18,05	18,30	Bomberos	2	2	2	0	1	5	0	1	1	0
05/02/2003	3	19,40	19,40	19,55	20,00	20,20	Guarderia Forest.	1	50	50	E	1	3	0	2	0	0
03/03/2003	1	17,00	17,05	17,15	17,40	17,40	Guarderia Forest.	1	170	200	W	2	3	1	2	1	0
05/03/2003	3	16,40	16,45	16,55	--	--	Guarderia Forest.	2	200	--	SE	1	3	0	2	1	4
29/03/2003	6	20,15	20,25	20,40	20,45	21,15	Vecinos	2	40	150	NE	1	2	0	1	2	0
09/09/2003	2	3,00	--	--	3,10	3,10	Vecinos	3	1	1	W	--	0	0	0	0	0
23/11/2003	1	17,50	18,10	17,55	18,15	18,30	Policia Local	1	25	45	0	1	3	0	4	1	0
10/06/2004	4	1,30	--	--	2	2,00	Bomberos	--	10	10	--	--	0	1	1	0	0
31/07/2004	6	16,50	17,00	17,00	17,00	17,15	Bomberos	1	60	70	S	1	1	0	3	0	0
28/08/2004	6	--	--	--	--	--	Policia Local	1	1	1	--	--	0	0	0	1	0
09/10/2004	4	15,50	16,10	--	16,20	18,00	Bomberos	1y2	250	30000	W	2	3	0	9*****	2	0
26/10/2004	2	16,50	16,55	17,05	17,05	17,20	Vecinos	2	100	100	W	1	4	5	2	8	0
09/11/2004	2	15,00	15,05	15,05	15,30	16,00	O.T.D.A	1,2 y 3	1500	2500	NW	3	4	2	5*****	5	1
09/11/2004	2	16,45	16,45	17,00	17,00	17,05	Helicóptero Vig.	2	20	20	NW	2	2	2	2****	2	0
18/11/2004	4	13,40	13,45	--	13,50	14,00	--	2	--	40	SW	1	3	1	2	3	0
27/12/2004	1	16,30	--	--	--	--	--	--	--	10000	--	--	--	--	--	--	--
20/01/2005	4	--	--	--	20,30	--	Vecinos	--	--	600	--	--	--	--	--	--	--
14/02/2005	1	19,50	20,15	20,15	20,15	20,30	Bomberos	1	90	90	NW	1	3	0	2	0	0

FECHA	DIA	H. Detc.	H. Guard	H. Bomb	H. Cont	H. Ext.	1º Información	Tipo Llama	SUPAT (m2)	SUPEX (m2)	DIRV	INTV	G. FOR	G. GENER	BOMBEROS	POLICIA	GCIVIL
17/02/2005	4	13,30	--	--	--	15,00	O.T.D.A	1,00	--	6000	--	--	--	--	1	--	--
07/03/2005	--	--	--	--	--	--	--	--	--	5000	--	--	--	--	--	--	--
30/03/2005	3	--	--	--	--	--	--	--	--	6000,00	--	--	--	--	--	--	--
31/03/2005	3	--	--	--	--	--	--	--	--	7000	--	--	--	--	--	--	--
14/04/2005	3	--	--	--	--	--	--	--	--	4000	--	--	--	--	--	--	--
18/04/2005	1	18,00	--	--	--	--	--	--	--	20000	NW	3	--	--	--	--	--
19/05/2005	4	--	--	--	--	--	Vecinos	--	--	2	0	0	0	0	0	0	0
25/07/2005	1	16,00	16,15	16,20	18,30	19,30	Vecinos	1,2y3	--	12000	SE	1	3	2	4*****	10	1
22/08/2005	1	19,00	--	--	--	21,00	Vecinos	1,2y3	--	46000	SE	3	--	40	16*****	8	0
17/09/2005	6	16,30	--	--	--	--	Bomberos	2	50	50	0	1	0	0	1	1	0
29/10/2005	6	15,30	--	15,45	16,00	16,30	--	0	400	716	--	--	0	0	2	2	0
02/11/2005	3	19,20	--	19,25	19,30	19,30	Policia Local	--	10	10	0	1	1	0	1	0	0
15/12/2005	4	22,30	--	22,30	--	22,39	112	1	8	8	--	--	0	0	1	0	0
28/12/2005	3	16,30	--	--	--	16,35	Vecinos	1	0	2	W	1	0	0	1	1	0
15/02/2006	3	--	--	--	--	--	--	--	--	6000	--	--	--	--	--	--	--
25/02/2006	6	--	--	--	--	--	--	--	--	8000	NE	0	--	--	--	--	--
01/04/2006	6	3,25	3,30	3,30	3,30	3,40	112	--	--	100	--	--	0	0	1	0	1
05/07/2006	3	12,15	12,30	12,30	12,45	13,00	Vecinos	1	200	300	E	1	1	0	1	4	2
26/08/2006	6	13,45	13,50	14,00	14,15	14,30	Concejal	1	200	300	E	1	1	0	2	0	0
05/10/2006	4	17,30	--	18,30	18,30	18,30	Guardas	1	4000	4000	SE	1	0	0	2	1	0
10/12/2006	7	6,15	--	6,18	--	7,20	112	1	--	4000	SE	1	0	0	2	0	2
13/02/2007	2	12,30	--	14,12	--	14,52	Vecinos	1	--	40000	W	3	0	0	2	0	0
24/02/2007	6	17:10	17,10	17,2	17,30	17,35	Guarderia Forest.	2	70	100	NW	3	2	2	3	4	0
11/03/2007	7	20:26	--	--	--	22:01	--	--	--	--	--	--	--	--	7	--	--
12/03/2007	1	02:06	--	--	--	02:37	--	--	--	--	--	--	--	--	2	--	--
18/03/2007	7	11:40	--	--	--	12:35	--	--	--	--	--	--	--	--	2	--	--
18/03/2007	7	20:52	--	--	--	21:27	--	--	--	--	--	--	--	--	1	--	--
23/03/2007	5	13:34	--	--	--	14:37	--	--	--	--	--	--	--	--	2	--	--
28/05/2007	1	15:05	15,20	15,05	16,30	17	Vecinos	1,2 y 3	200	8000	NE	2	2	3	12**	30	18
01/06/2007	5	14:37	--	14,37	14,40	14,4	Guarderia Forest.	1	10	12	SE	1	0	1	1	0	0
15/06/2007	5	19:36	19,55	19,50	19,50	20	112	1,2 y 3	10	20	W	1	1	1	4	2	1
20/06/2007	3	19:48	20,05	19,53	20,05	20,15	112	1	1	1	SE	1	1	1	4	1	2
20/06/2007	3	21:50	--	21,57	22,00	22	112	1	20	20	0	1	0	0	3	1	1

FECHA	DIA	H. Detc.	H. Guard	H. Bomb	H. Cont	H. Ext.	1º Información	Tipo Llama	SUPAT (m2)	SUPEX (m2)	DIRV	INTV	G. FOR	G. GENER	BOMBEROS	POLICIA	GCIVIL
21/06/2007	4	14:13	--	--	--	16:30	--	1 y 2	--	40000	--	--	--	--	6	--	--
21/06/2007	4	21:50	--	--	--	22:30	--	--	--	--	--	--	--	--	1	--	--
16/09/2007	7	19:59	--	20,04	20,04	20,04	112	1	1	2	--	--	0	0	2	1	0
01/03/2008	6	19:30	--	20,00	20,00	20	112	1	50	50	--	--	0	0	5	0	0
06/03/2008	4	18:06	18,10	18,25	21,00	22	Vecinos	3	--	48583	SE	2	2	4	20	12	6
15/03/2008	6	20:05	--	20,10	21,00	21,24	112	1	400	450	W	2	2	0	5	0	1
21/03/2008	5	10:10	11,00	10,21	10,45	11,5	112	2	600	800	W	1	3	0	3	1	1
27/05/2008	2	12:42	--	--	--	13:17	--	1	--	10	--	--	--	--	1	--	--
28/06/2008	6	21:08	--	21,12	21,26	21,26	112	1	--	60	--	--	0	0	2	0	0
21/08/2008	4	09:20	--	9,22	9,22	9,27	112	1	3	5	--	--	0	0	1	0	0
03/09/2008	3	17:44	--	--	--	19:35	--	1	--	4000	--	--	--	1	5	--	2
08/09/2008	1	21:13	--	--	--	22:28	--	1	--	90	--	--	--	--	4	--	--
15/09/2008	1	12:43	--	--	--	13:08	--	1	--	--	--	--	--	--	2	--	--
10/03/2009	2	15	15,15	15,2	15,15	15,3	Vecinos	1	--	300	--	1	3	1	1	2	--
11/03/2009	3	--	--	--	--	--	--	--	--	5000	--	--	--	--	--	--	--
05/06/2009	5	17,3	17,4	17,35	17,40	18,00	Vecinos	1	400	500	W	2	1	0	1	2	0
28/06/2009	7	12,45	12,45	12,55	13	13,00	Policia Local	1	20	40	SE	1	1	0	2	2	0
05/08/2009	3	13,45	14	13,5	14,15	14,15	Vecinos	1	2	5	E	2	2	0	1	0	0
05/12/2009	6	17	--	--	--	17,30	--	1 y 2	--	100	0	1	0	0	1	0	0

* Además de 4 avionetas y 2 helicópteros.
**Además de 1 helicóptero y 1 hidroavión
*** Además de 6 helicópteros, 3 avionetas y 2 hidroaviones
***** Además de 1 helicóptero, 1 avioneta y 1 hidroavión.
***** Además de 1 helicóptero y 1 hidroavión.
**** Además de 1 helicóptero
***** Además de 1 helicóptero y 1 hidroavión
***** Además de 3 helicóptero y 2 avionetas

FECHA	CAUSAS	ECOSIST	LOCALIZACION
13/03/1998	Imprudencia	Pino y Matorral	Detrás del camping en la Mallada del Saler.
02/03/1998	Imprudencia	Cañas	El Palmar, a la bajada del puente del Racó de l'Olla.
30/09/1998	Desconocido	Cañas	Ctra.del Palmar, a150m del puente del Racó de l'Olla.
04/06/1999	Desconocido	Pino, Enebro y Matorral	Frente auto-escuela.
02/12/1999	Desconocido	Pino y Matorral	Entre el cortafuego de la Rambla y de los Ferros.
08/03/2000	Imprudencia	Cañas	En el Alcatí.
17/03/2000	Imprudencia	Pino y Matorral	Cortafuego de Pujol Vell.
17/03/2000	Desconocido	Pino y Matorral	La Brava,ctra. Nazaret-Oliva.
25/04/2000	Imprudencia	Matorral	Valla divisoria entre campins Valencia y Pinos.
05/08/2000	Imprudencia	Pino, Enebro y Matorral	Junto Mallada del Quarter.
12/08/2000	Intencionado	Cañas	Cañar del Tancat del Gallinero.
17/08/2000	Intencionado	Cañas	Cañar del Tancat del Gallinero.
21/08/2000	Intencionado	Cañas	Cañar de la acequia de entrada al motor del "Tocrello".
11/09/2000	Intencionado	Matorral	Entrada rotonda de autopista de Valencia,25m dentro de la Devesa.
20/09/2000	Desconocido	Cañas	Avenida Gayiotas entre nº 143 y 147.
12/10/2000	Imprudencia	Pinar	Gavines Norte.
27/01/2001	Intencionado	Cañar	Acequia de la Reina.
18/03/2001	Desconocido	Arbustos	Aparcamiento Lago Artificial.
19/06/2001	Imprudencia	Arbustos	Racó de l'Olla.
04/07/2001	Rayo	Pimpollos	Parte interior del Lago Artificial.
23/07/2001	Rayo dormido	Arbusto	Cortafuego de la Rambla.
27/08/2001	Desconocido	Arbusto	Entre el cortafuego del Canyar y la valla del campo de golf.
03/09/2001	Desconocido	Cañas	Orilla de L'illa.
23/09/2001	Desconocido	Arbusto y parte baja de 5 pinos	Entre cortafuego de los Ferros y de la Calle.
08/02/2002	Desconocido	Cañas	Frente al motor de riego del campo de golf.
23/02/2002	Desconocido	Cañas	Cerca de la replaza Del Riollers.

FECHA	CAUSAS	ECOSIST	LOCALIZACION
22/02/2002	Desconocido	Arbusto	Vial paralelo a la CV-500, km 2.
26/02/2002	Desconocido	Cañas	Palmar, al final de la calle Redolins.
28/02/2002	Desconocido	Cañas	Mata del Brosser (Alfagar).
28/02/2002	Desconocido	Cañas	Frente al motor de la Reina.
08/03/2002	Intencionado	Cañas	En el Canyar.
10/03/2002	Imprudencia	Arbusto	Camino viejo de la Devesa.
19/06/2002	Desconocido	Arbusto	Cortafuego de la Devesa, a 20m de la rotonda CV-5010.
12/08/2002	Imprudencia	Arbusto y parte baja de 4 pinos	Cortafuego del Saler, entre casa forestal y el Saler.
01/09/2002	Intencionado	Arbusto y parte baja de 4 pinos	Entre cortafuego del Saler y el pueblo.
19/10/2002	Imprudencia	Arbusto	Pinada frente al Camping Valencia
01/11/2002	Desconocido	Arbusto	Paseo de las Golas.
09/01/2003	Imprudencia	Arbusto	Entre cortafuego de los Ferros y de la Rambla.
09/01/2003	Intencionado	Arbusto	Frente a caseta del Parador.
05/02/2003	Intencionado	Cañas	Parte trasera de la depuradora del Palmar.
03/03/2003	Desconocido	Cañas	Sequiota.
05/03/2003	Controlado	Cañas	Mota oeste de la acequia nova (Palmar).
29/03/2003	Desconocido	Arbustos y Cañas	Palmar de la Sequiota lindando con el Tancat del illa.
09/09/2003	Accidente Elect	Ramas de Pino	Junto al vial sureste de Gavines II.
23/11/2003	Intencionado	Arbusto y 2 pinos	Entre la Mallada Llarga y l'Aterrissador.
10/06/2004	Desconocido	Arbusto y 1 pino	Junto al vial con direccion aparcamiento oeste del lago.
31/07/2004	Desconocido	Cañas	A 1km del Palmar dirección Sollana.
28/08/2004	Desconocido	Arbusto	Rotonda del cortafuego del Saler.
09/10/2004	Desconocido	Arbusto	Tancat del illa.
26/10/2004	Desconocido	Arbusto y parte baja de 2 pinos	Pla de la Sanxa, a unos 15m de la CV-500.
09/11/2004	Desconocido	Arbusto y Pinada	La Sanxa, entre paseo traviesas de madera y vial central.
09/11/2004	Desconocido	Arbusto y Pinada	Casa Forestal del Perellonet.

FECHA	CAUSAS	ECOSIST	LOCALIZACION
18/11/2004	Intencionado	Arbusto y parte baja de 4 pinos	Mallada de la Rambla, a 30m de la CV-500.
27/12/2004	Desconocido	Cañas	Zona Punta de Sant Pere.
20/01/2005	Intencionado	Cañas	Entre Sequiota y acequia Nova.
14/02/2005	Accidente Elect	Cañas	Parte sur del colegio Sebastian Burgos.
17/02/2005	Intencionado	Cañas	Parte oeste del la Plana, junto al camino el Malvinar.
07/03/2005	Intencionado	Cañas	Entre acequia de L'Alle y el motor del Xicorro.
30/03/2005	Intencionado	Cañas	Port de L'illa frente al tancat del Desagüe.
31/03/2005	Intencionado	Cañas	Frente al tancat de la Pipa.
14/04/2005	Intencionado	Cañas	Entre la acequi de la Xunsa y la mota del Recatí.
18/04/2005	Intencionado	Arbusto	Mota del tancat de la Pina.
19/05/2005	Imprudencia	Arbusto	Parte norte de Gavines II frente al edificio nº 45.
25/07/2005	Intencionado	Arbusto y Pinada	Tancat de Alcatí a 50m de la CV-500.
22/08/2005	Intencionado	Arbusto y Pinada	Entre el cortafuego de la Rambla y los Ferros.
17/09/2005	Rayo	Cañas	Margen izq. Gola del Perellonet, 200m de la desembocadura.
29/10/2005	Intencionado	Arbusto y Cañas	Entre la antigua fábrica PLEXI y la playa.
02/11/2005	Intencionado	Cañas	La Sequiota.
15/12/2005	Intencionado	Arbusto	Cortafuego de Pujol Vell, a 100m de la carretera.
28/12/2005	Intencionado	Arbusto	Entre el estanco del Saler y la Casa Forestal.
15/02/2006	Intencionado	Cañas	Margen izq. de la acequia de la Alqueresia.
25/02/2006	Intencionado	Cañas	Margen izq. de la acequia Nova de la Silla.
01/04/2006	Intencionado	Arbusto y Pinada	Acceo a la Creu, margen N, enfrente puerta trasera polideportivo.
05/07/2006	Imprudencia	Cañas	Entrada a l'Angle salida autopista de Pinedo.
26/08/2006	Intencionado	Cañas	Carretera de la Junca (Recatí).
05/10/2006	Intencionado	Cañas	Junto al camino del tancat del Recatí, hacia el sur.
10/12/2006	Desconocido	Arbusto	Entre calles Llevig y Botavara del Perellonet
13/02/2007	Intencionado	Arbusto	Mata del Rey parte este del "tancat" del Dulero

FECHA	CAUSAS	ECOSIST	LOCALIZACION
24/02/2007	Desconocido	Arbusto	CV-500 km7,5 a 200 m del cortafuegos La Calle
11/03/2007	Desconocido	--	Carrera del Río
12/03/2007	Desconocido	--	Carrera del Río
18/03/2007	Desconocido	--	Av. Gaviotas
18/03/2007	Desconocido	--	Gola del perellonet con perelló
23/03/2007	Desconocido	--	La mata de lantina
28/05/2007	Intencionado	Arbusto y Pinada	Entrada sidi saler en los nucleos 6 y 8; además de 2 pequeños focos en tallafoc de la Garrofera y al Sur del Sidi (ntre 2º y 3er aparcamiento)
01/06/2007	Imprudencia	Arbusto	Frente casa forestal 15-22, parte noroeste
15/06/2007	Imprudencia	Arbusto y 1 pino	Detrás del antiguo parque de bomberos
20/06/2007	Intencionado	Pinocha	Gola de Pujol. En entrada de la garrofera, entre el 22 de los edificios de las torres del saler y la mallada larga
20/06/2007	Intencionado	Arbusto	Entrada Parador del Saler
21/06/2007	Desconocido	--	Gaviotas, margen derecha de la carretera, dirección perelló
21/06/2007	Desconocido	--	Entrada parador Luis Vives
16/09/2007	Intencionado	Arbusto	Cuadrícula 14-21 y 15-21
01/03/2008	Desconocido	Cañas	Palmaret (carretera del palmar) cuadrante 34-26
06/03/2008	Intencionado	Arbusto y Pinada	Mallada Larga
15/03/2008	Desconocido	Arbusto	Frente Gola Perellonet, al final de la calle Cabrestante
21/03/2008	Imprudencia	Arbusto	CV-500 km7,7 frente urbanización Voramar
27/05/2008	Desconocido	--	Gaviotas, gola del perellonet
28/06/2008	Imprudencia	Arbusto	Junto Sidi Saler
21/08/2008	Desconocido	Arbusto	Frente Camping Valencia (crt. Nazaret-oliva)
03/09/2008	Desconocido	Cañas y huerta	C/Montañares, junto rte Marrasquino
08/09/2008	Desconocido	Cañas	Tancat del Recatí, a 50 m del motor "Tavio"
15/09/2008	Desconocido	Cañas y matorrales	Antigua fábrica Plexi
10/03/2009	Intencionado	Arbusto	Linde de la Acequia de Malta con el "tancat de les rates"
11/03/2009	Desconocido	Arbusto	Puente de Rojas, en la parte del tancat del Recati

FECHA	CAUSAS	ECOSIST	LOCALIZACION
05/06/2009	Imprudencia	Arbusto	km 1 de Autovía dirección Valencia margen derecha
28/06/2009	Desconocido	Cañas	Aparcamiento sur junto al colegio sebastian burgos
05/08/2009	Imprudencia	Arbusto	CV-500 km 13,5
05/12/2009	Desconocido	Arbusto y Pinada	Acceso a la Creu en su margen izquierda