

**Universidad Politécnica de Valencia**  
Escuela Técnica Superior de Ingeniería  
Geodésica, Cartográfica y Topográfica



**Cartografiado del peligro de  
incendio forestal para la  
comarca de Tafalla (Navarra).**

**TRABAJO DE FIN DE GRADO**

AUTOR: Francisco Javier Vaquero Cáceres

TUTOR: Alfonso Fernández Sarría

1 de Julio del 2016

## Índice

|                                                                                                   |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>1. Introducción</b> .....                                                                      | 4  |
| <b>1.1. Antecedentes</b> .....                                                                    | 4  |
| <b>1.2. Marco Legal</b> .....                                                                     | 5  |
| <b>2. Estudios Previos</b> .....                                                                  | 8  |
| <b>2.1. Incendios forestales. Comparación de los últimos cinco decenios en España</b> .....       | 8  |
| 2.1.1 Grandes Incendios (GIF). Historia.....                                                      | 13 |
| <b>2.3. La defensa contra los incendios forestales en España durante el decenio 2001-2010.</b> 18 |    |
| 2.3.1. Equipos de prevención integral de incendios forestales (EPRIF) .....                       | 18 |
| 2.3.2. Brigada de labores preventivas.....                                                        | 18 |
| 2.3.3. Campañas de sensibilización.....                                                           | 18 |
| 2.3.4. Aprovechamiento de la biomasa forestal .....                                               | 19 |
| 2.3.5. La tecnología utilizada en la defensa contra los incendios forestales .....                | 19 |
| <b>2.4 Los incendios forestales en Navarra</b> .....                                              | 20 |
| <b>2.5. Factores que controlan los incendios forestales</b> .....                                 | 21 |
| 2.5.1. Meteorología.....                                                                          | 21 |
| 2.5.2. Combustible .....                                                                          | 24 |
| 2.5.3. Topografía .....                                                                           | 24 |
| <b>2.6. Incendios Forestales. Efectos</b> .....                                                   | 25 |
| 2.6.1. Efecto sobre la atmosfera .....                                                            | 25 |
| 2.6.2. Efecto sobre la vegetación .....                                                           | 26 |
| 2.6.3. Efecto sobre la fauna.....                                                                 | 26 |
| 2.6.4. Efecto sobre la erosión.....                                                               | 27 |
| 2.6.5. Efecto sobre el suelo .....                                                                | 27 |
| <b>2.7. Teoría del triángulo de fuego a la teoría del tetraedro.</b> .....                        | 28 |
| <b>3. Objetivos del Trabajo</b> .....                                                             | 30 |
| <b>3.1. Ubicación</b> .....                                                                       | 30 |
| 3.1.1. Acontecimientos del incendio.....                                                          | 31 |
| <b>3.2. Descripción física</b> .....                                                              | 32 |
| 3.2.1. Orografía .....                                                                            | 32 |
| 3.2.2. Climatología.....                                                                          | 32 |
| 3.2.3. Flora y Fauna .....                                                                        | 32 |
| <b>3.3. Áreas de interés</b> .....                                                                | 34 |
| <b>3.4. Redes de comunicación</b> .....                                                           | 35 |
| <b>3.5. Hojas</b> .....                                                                           | 35 |

|                                                                  |    |
|------------------------------------------------------------------|----|
| <b>4. Datos de Partida</b> .....                                 | 37 |
| <b>4.1. Imágenes Landsat</b> .....                               | 37 |
| <b>4.2. Cartografía utilizada</b> .....                          | 40 |
| 4.2.1. Núcleos Urbanos .....                                     | 40 |
| 4.2.2. Vías de comunicación .....                                | 40 |
| 4.2.3. Líneas eléctricas .....                                   | 41 |
| 4.2.4. Hidrología .....                                          | 41 |
| 4.2.5. Embalses.....                                             | 41 |
| 4.2.6. Vegetación.....                                           | 41 |
| 4.2.7. Parques de bomberos .....                                 | 42 |
| 4.2.8. Modelo Digital de Elevaciones .....                       | 42 |
| <b>4.3. Datos Climatológicos</b> .....                           | 43 |
| <b>5. Metodología de Trabajo</b> .....                           | 44 |
| <b>5.1. Modelo propuesto</b> .....                               | 44 |
| <b>5.2. Procedimiento</b> .....                                  | 48 |
| <b>6. Resultados y Análisis (Ignición)</b> .....                 | 55 |
| <b>6.1. Núcleos Urbanos</b> .....                                | 55 |
| <b>6.2. Líneas eléctricas</b> .....                              | 57 |
| <b>6.3. Vías de comunicación</b> .....                           | 59 |
| <b>6.4. Cantidad de Vegetación (NDVI)</b> .....                  | 64 |
| <b>6.5. Altitud</b> .....                                        | 67 |
| <b>6.6. Iluminación</b> .....                                    | 69 |
| <b>6.7. Precipitación</b> .....                                  | 71 |
| <b>6.8. Temperatura</b> .....                                    | 73 |
| <b>6.9. Retención de agua del suelo</b> .....                    | 75 |
| <b>6.10 Riesgo de Ignición</b> .....                             | 78 |
| <b>7. Resultados y Análisis (Propagación)</b> .....              | 79 |
| <b>7.1. Combustibilidad</b> .....                                | 79 |
| <b>7.2. Pendiente</b> .....                                      | 83 |
| <b>7.3. Orientación</b> .....                                    | 85 |
| <b>7.4. Parques de Bomberos</b> .....                            | 87 |
| <b>7.5. Puntos de agua</b> .....                                 | 89 |
| <b>7.6. Cortafuegos, Hidrología y Vías de comunicación</b> ..... | 91 |
| <b>7.7. Viento</b> .....                                         | 93 |
| <b>7.8. Humedad</b> .....                                        | 96 |
| <b>7.9 Riesgo de Propagación</b> .....                           | 98 |

|                                                  |     |
|--------------------------------------------------|-----|
| <b>8. Peligro de Incendio Forestal</b> .....     | 100 |
| <b>9. Áreas afectadas por el incendio</b> .....  | 102 |
| <b>10. Análisis y conclusiones finales</b> ..... | 107 |
| <b>11. Agradecimientos</b> .....                 | 109 |
| <b>12. Referencias Bibliográficas</b> .....      | 110 |

## 1. Introducción

### 1.1. Antecedentes

Los incendios forestales suponen un elemento connatural a los paisajes mediterráneos, desempeñando un importante papel de selección que marcó pautas evolutivas en las comunidades vegetales. La actuación del fuego, ya sea como elemento natural, ya inducido por el hombre para transformar el uso de la tierra, es multiseccular, como lo demuestra la adaptación de la mayor parte de las especies vegetales de nuestro entorno a este fenómeno. (Moreno, 1989).

Sin embargo, aun cuando los incendios sean un hecho natural, con repercusiones incluso benéficas para el ecosistema forestal, la incontrolada proliferación de los mismos en los últimos años ha contribuido a agravar sus efectos. De esta forma, la acción del fuego no se limita a arrasar la vegetación presente, sino que produce un impacto, a veces irreversible, sobre el suelo, que se ve degradado a sus estadios más elementales. Éste es, precisamente, el principal problema de los recientes incendios en los países europeos de clima mediterráneo: los ciclos de ocurrencia se acortan rápidamente en determinados espacios, lo que, combinado con otros factores (climáticos, edafológicos, actividad humana, etc.), conduce a situaciones con peligro muy alto de irreversibilidad.

Los incendios forestales constituyen una importante amenaza para todos nuestros montes, tanto por las pérdidas de superficie forestal y los consiguientes valores ambientales que suponen como por los cuantiosos daños personales y materiales que ocasionan. El problema de los incendios forestales trasciende al ámbito estrictamente ambiental y afecta a otros aspectos fundamentales de la sociedad como son la vida y la seguridad de las personas, las infraestructuras, los núcleos de población y el patrimonio histórico artístico. Por ello, para mitigar las graves consecuencias sociales y económicas del problema, es preciso un enfoque integral de la protección contra incendios que incluya la puesta en marcha de medidas cuyo desarrollo corresponde a ámbitos de la acción pública que no son estrictamente ambientales pero que tienen la capacidad de perfeccionar la defensa y la lucha contra incendios.

Los incendios forestales constituyen uno de los principales problemas ecológicos planteados en el área mediterránea, debido a la extensión, frecuencia e intensidad que han adquirido en los últimos años. Hay varios elementos estructurales que contribuyen a la ocurrencia de los grandes incendios:

- La creciente acumulación de combustibles en los montes provocada por la falta de rentabilidad de los aprovechamientos forestales y el empleo de combustibles fósiles, el abandono de los cultivos agrícolas que hacen de áreas cortafuegos y la reducción de la ganadería extensiva que contribuye a reducir el combustible favorecen la existencia de grandes espacios continuos de vegetación natural con gran carga de combustible sin elementos de corte necesarios para la frenar el desarrollo de los grandes incendios.
- El envejecimiento de la población rural y despoblamiento de amplias zonas del interior del país reduce la mano de obra cualificada para los trabajos de mantenimiento del espacio forestal y la dotación de personal de las brigadas de extinción.
- La cada vez mayor superficie de la interfaz urbano-forestal y la necesaria obligación de anteponer la defensa de vidas y bienes humanos frente al propio espacio forestal facilitan el desarrollo de los grandes incendios.

- El incremento de las temperaturas provocado por el cambio climático aumentará las condiciones de aridez de la Península Ibérica. La previsión de cada vez más frecuentes episodios de largas sequías y situaciones puntuales de fuertes vientos favorecerán las condiciones de propagación del fuego necesarias para la ocurrencia de incendios de grandes dimensiones.

Por todo ello, se debe de considerar este, como un problema de máxima prioridad para las autoridades competentes y una forma de ayudar a corregirlo es la elaboración de Planes de Prevención de Incendios Forestales. La defensa contra incendios forestales en España es competencia de las Comunidades Autónomas. El Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino a través de la Dirección General de Medio Natural y Política Forestal tiene encomendada la coordinación básica de las actividades de lucha contra incendios y el apoyo con medios de extinción a las Administraciones Autonómicas de acuerdo con las directrices del Plan Forestal Español y el Acuerdo de la Conferencia Sectorial de Medio Ambiente sobre Prevención y Lucha contra Incendios Forestales celebrada en Santander de 29 de enero de 2005 , el RDL 11/2005 de "Medidas urgentes en materia de incendios forestales" y los Acuerdos de los Consejos de Ministros de 10 de junio de 2005 y 9 de junio de 2006. La ley estatal 43/2003, de Montes de 21 de noviembre, modificada por ley 10/2006, de 28 de abril, en su artículo 48.2 establece que “corresponde a las comunidades autónomas la declaración de zonas de alto riesgo y la aprobación de sus planes de defensa”. Además, en el artículo 48.4 dicta que “la normativa de las comunidades autónomas determinará las modalidades para la redacción de los planes de defensa y podrá declarar de interés general los trabajos incluidos en aquéllos, así como determinar, en cada caso, el carácter oneroso o gratuito de la ejecución subsidiaria por la Administración”.

## **1.2. Marco Legal**

El Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente desarrolla sus actuaciones en la defensa y lucha contra los incendios forestales, bajo el marco legal establecido por las siguientes disposiciones:

- Real Decreto-Ley 11/2005, de 22 de julio, por el que se aprueban medidas urgentes en materia de incendios forestales.
- Acuerdo del Consejo de Ministros de 7 de octubre de 2005 por el que se crea la Unidad Militar de Emergencias.
- Ley 10/2006, de 28 de abril, por la que se modifica la Ley 43/2003, de 21 de noviembre, de Montes.
- Real Decreto 1424/2008, de 14 de agosto, por el que se determinan la composición y las funciones de la Comisión Estatal para el Patrimonio Natural y la Biodiversidad, se dictan las normas que regulan su funcionamiento y se establecen los comités especializados adscritos a la misma.
- Ley 3/2010, de 10 de marzo, por la que se aprueban medidas urgentes para paliar los daños producidos por los incendios forestales y otras catástrofes naturales ocurridos en varias Comunidades Autónomas
- Real Decreto 1097/2011, de 22 de julio, por el que se aprueba el Protocolo de Intervención de la Unidad Militar de Emergencias.
- Real Decreto 401/2012, de 17 de febrero, por el que se desarrolla la estructura orgánica básica del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente

- Real Decreto 893/2013, de 15 de noviembre, por el que se aprueba la Directriz básica de planificación de protección civil de emergencia por incendios forestales.
- Resolución de 31 de octubre de 2014, de la Subsecretaría, por la que se publica el Acuerdo del Consejo de Ministros de 24 de octubre de 2014, por el que se aprueba el Plan Estatal de Protección Civil para Emergencias por Incendios Forestales.

Y más concreto en Navarra:

El artículo 50 de la Ley Orgánica de Reintegración y Amejoramiento del Régimen Foral de Navarra establece que “Navarra, en virtud de su Régimen Foral, tiene competencia exclusiva sobre las siguientes materias:

- Caza; pesca fluvial y lacustre; acuicultura.
- Pastos, hierbas y rastrojeras.
- Espacios Naturales protegidos y tratamiento especial de zonas de montaña, de acuerdo con la legislación básica del Estado.
- Montes cuya titularidad pertenezca a la Comunidad Foral o a los Municipios, Concejos y demás entidades administrativas de Navarra. Corresponde asimismo a Navarra el desarrollo legislativo y la ejecución de la legislación básica del Estado en materia de montes de propiedad de particulares.

El artículo 21 de la Ley Foral 13/1990, de 31 de diciembre, de protección y desarrollo del patrimonio forestal de Navarra hace responsable a la Administración de la Comunidad Foral de la función de conservación y defensa de los montes o terrenos forestales ante una serie de peligros entre los que se citan, los incendios forestales.

El artículo 37 de la misma Ley Foral especifica tal obligación estableciendo que “compete a la Administración de la Comunidad Foral la planificación, coordinación y ejecución de las medidas precisas para la prevención y lucha contra los incendios forestales, sin perjuicio de las competencias de otras Administraciones Públicas con las que aquélla mantendrá relaciones de colaboración”.

Para situar el presente Plan en el correspondiente marco legal, deben citarse las siguientes normas estatales y normas forales: Normas estatales:

- Ley 81/1968, de 5 de diciembre, de Incendios Forestales.
- Decreto 3769/1972, de 23 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento de la Ley de Incendios Forestales.
- Real Decreto 3640/1974, de 20 de noviembre, por el que se delegan en la Diputación Foral funciones del ICONA.
- Ley 2/1985, de 21 de enero, sobre protección civil.
- Ley 7/1985, de 2 de abril, reguladora de las Bases del Régimen Local.
- Real Decreto 1105/1985, de 19 de julio, sobre traspaso de servicios del Estado a la Comunidad Foral de Navarra en materia de Medio Ambiente.
- Real Decreto 875/1988, de 29 de julio, por el que se regula la compensación de gasto derivados de la extinción de incendios forestales.

- Orden de 2 de abril de 1993, del Ministerio de Interior, derivada del Acuerdo del Consejo de Ministros de 18 de marzo de 1993 por la que se aprueba la Directriz Básica de Planificación de Protección Civil de Emergencia por Incendios Forestales. Normas Forales:

- Ley Orgánica 13/1982, de 10 de agosto, de Reintegración y Amejoramiento del Régimen Foral de Navarra.

- Ley Foral 6/1990, de 2 de julio, de la Administración Local de Navarra.

- Ley Foral 13/1990, de 31 de diciembre, de protección y desarrollo del patrimonio forestal de Navarra.

- Decreto Foral 182/1996, de 15 de abril, por el que se establece la estructura orgánica del Departamento de Medio Ambiente, Ordenación del Territorio y Vivienda.

- Ley Foral 9/1996, de 17 de junio, de Espacios Naturales de Navarra.

- Decreto Foral 473/1996, de 30 de septiembre, por el que se establece la estructura orgánica del Departamento de Presidencia e Interior.

- Decreto Foral 150/1998, de 4 de mayo, por el que se regula el Centro de Coordinación Operativa.

La Orden Foral 195/2014, de 24 de Junio, del Consejero De Desarrollo Rural, Medio Ambiente y Administración Local, por la que se regula el uso del fuego en suelo no urbanizable para la prevención de incendios forestales. La cual ha sido actualizada en varias ocasiones.

## **2. Estudios Previos**

En 1955, año en que se creó el Servicio de Incendios Forestales, se inició la sistematización de los datos estadísticos referentes a estos siniestros, que ya anteriormente se venían recogiendo, de un modo irregular por los servicios provinciales. En 1967, disponiendo el Instituto Forestal de Investigaciones y Experiencias de un Gabinete de Cálculo con un computador electrónico, se confeccionó un nuevo modelo de Parte de Incendio (formulario utilizado para el acopio de datos), recogiéndose, a partir de 1968, tras la promulgación de la Ley 81/1968 de 5 de diciembre, sobre Incendios Forestales, la información de un modo normalizado.

Tras la transferencia de competencias en la gestión de los montes a las Comunidades Autónomas durante los años 1984 y 1985, en 1992 se creó la Comisión Técnica de Normalización, cuyas funciones posteriormente fueron asumidas por el Comité de Lucha contra Incendios Forestales (CLIF), con la promulgación en 1994, del Real Decreto que creaba la Comisión Nacional de Protección de la Naturaleza. Los consensos alcanzados en el seno del Grupo de Trabajo de Estadística de dicho Comité, así como el trabajo de un gran número de personas a lo largo de más de cuatro décadas, han permitido disponer de la información de los incendios forestales en formato digital desde 1968, conformando la Estadística General de Incendios Forestales (EGIF).

El Área de Defensa contra Incendios Forestales (ADCIF) del actual Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, es el organismo encargado de homogeneizar, mantener, elaborar y publicar esta estadística con carácter nacional, a partir de la información que remiten las Comunidades Autónomas, de cada uno de los siniestros forestales que ocurren en nuestro país.

Desde 1968 se viene editando una publicación anual con la información de los incendios forestales ocurridos durante dicho periodo. En la correspondiente a ese primer año se puede leer el siguiente párrafo que sigue vigente: “Con objeto de dar a conocer a los servicios forestales estos datos, así como a todas las personas interesadas se publica este folleto, con la intención de continuarlo todos los años. En él se recoge una serie de cuadros referidos a 1968. Para enlazar con la información de los años precedentes, se incluyen los datos generales de éstos y unas gráficas, que permiten examinar la evolución del problema de los incendios forestales desde 1961”.

Asimismo, y desde el año 2000, con carácter quinquenal, el ADCIF elabora una publicación de análisis de los siniestros del decenio anterior, habiéndose publicado hasta ahora las correspondientes a los decenios 1991- 2000 y 1996-2005, constituyendo, por tanto, ésta, la tercera publicación decenal, correspondiente al periodo 2001-2010.

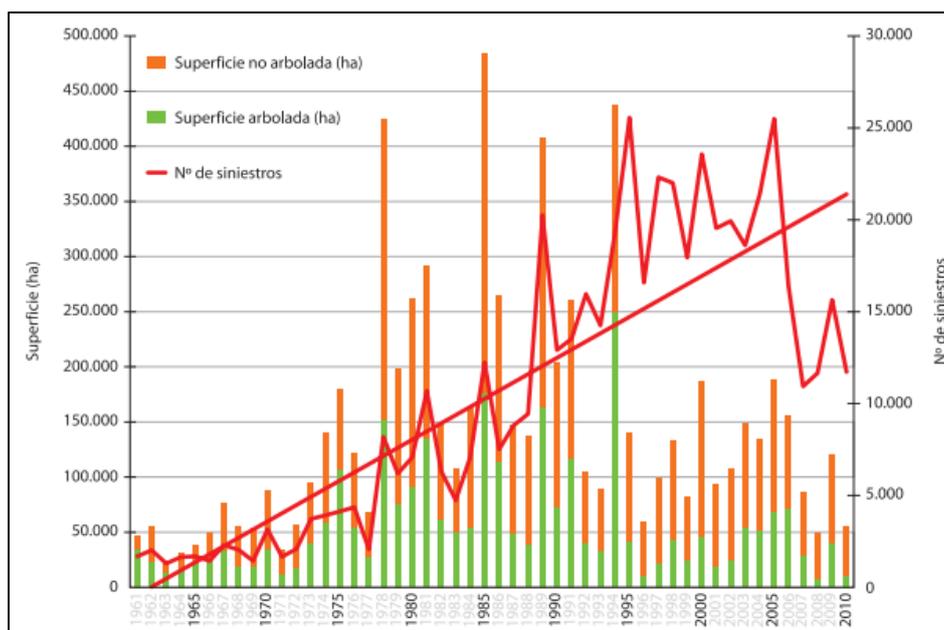
Todas las publicaciones, anuales y decenales, se pueden consultar y descargar en la Web: <http://www.magrama.gob.es>

### **2.1. Incendios forestales. Comparación de los últimos cinco decenios en España**

La tendencia del número de siniestros en el periodo comprendido entre 1961 y 2010 es creciente. En este análisis hay que tener en cuenta la mejora de la recogida de la información a lo largo de los años que ha permitido en la actualidad el registro de todos y cada uno de los siniestros forestales, aunque en ellos no hayan intervenido medios de extinción, mientras que esto no era así en las décadas de los sesenta y setenta.

En el periodo 1991-2000 se dobla el número de siniestros respecto del decenio anterior, alcanzándose una media de 19.097 siniestros al año, disminuyendo ésta hasta 17.127 en el

periodo 2001-2010, debido a los años 2007- 2010, periodo en el que se aprecia por primera vez una tendencia decreciente. El análisis de las superficies afectadas sin embargo nos revela una evolución diferente, siendo la tendencia creciente hasta mediados de los años 90, y sufriendo posteriormente un notable descenso, debido, no a la disminución en el número de siniestros, si no, a la implementación y constante crecimiento de los dispositivos de extinción de incendios forestales autonómicos tras el traspaso de competencias de los años 80 y el incremento de su eficacia.



**Gráfico 1.1.** Evolución del número de siniestros y superficies afectadas, 1961-2010. (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente)

| Año  | Nº de siniestros | Superficie afectada (ha) |             |            | Año  | Nº de siniestros | Superficie afectada (ha) |             |            |
|------|------------------|--------------------------|-------------|------------|------|------------------|--------------------------|-------------|------------|
|      |                  | Arbolada                 | Desarbolada | Totales    |      |                  | Arbolada                 | Desarbolada | Totales    |
| 1961 | 1.680            | 34.056,00                | 12.195,00   | 46.251,00  | 1986 | 7.514            | 113.852,00               | 150.935,40  | 264.787,40 |
| 1962 | 2.022            | 23.911,00                | 31.571,00   | 55.482,00  | 1987 | 8.816            | 49.354,70                | 97.985,70   | 147.340,40 |
| 1963 | 1.302            | 13.279,00                | 9.400,00    | 22.679,00  | 1988 | 9.440            | 39.262,60                | 98.010,00   | 137.272,60 |
| 1964 | 1.645            | 17.671,00                | 13.727,00   | 31.398,00  | 1989 | 20.250           | 163.170,90               | 243.951,20  | 407.122,10 |
| 1965 | 1.686            | 21.777,00                | 16.241,00   | 38.018,00  | 1990 | 12.914           | 73.198,10                | 130.443,30  | 203.641,40 |
| 1966 | 1.443            | 24.644,00                | 24.710,00   | 49.354,00  | 1991 | 13.529           | 116.895,60               | 143.407,40  | 260.303,00 |
| 1967 | 2.299            | 33.930,00                | 42.645,00   | 76.575,00  | 1992 | 15.956           | 40.438,00                | 64.839,60   | 105.277,60 |
| 1968 | 2.038            | 20.015,00                | 35.687,00   | 55.702,00  | 1993 | 14.253           | 33.420,90                | 55.910,20   | 89.331,10  |
| 1969 | 1.442            | 18.860,20                | 34.311,40   | 53.171,60  | 1994 | 19.249           | 250.421,80               | 187.180,70  | 437.602,50 |
| 1970 | 3.155            | 34.136,30                | 53.302,20   | 87.438,50  | 1995 | 25.557           | 42.131,23                | 98.950,94   | 141.082,17 |
| 1971 | 1.665            | 12.786,90                | 21.525,50   | 34.312,40  | 1996 | 16.586           | 10.274,54                | 48.644,73   | 58.919,27  |
| 1972 | 2.093            | 17.370,80                | 38.549,30   | 55.920,10  | 1997 | 22.320           | 21.326,23                | 77.176,94   | 98.503,17  |
| 1973 | 3.724            | 40.496,10                | 54.576,40   | 95.072,50  | 1998 | 22.003           | 42.705,24                | 90.187,10   | 132.892,34 |
| 1974 | 3.920            | 58.038,70                | 81.888,80   | 139.927,50 | 1999 | 17.943           | 23.934,15                | 57.746,52   | 81.680,67  |
| 1975 | 4.128            | 107.723,60               | 72.413,30   | 180.136,90 | 2000 | 23.574           | 45.900,41                | 141.666,65  | 187.567,06 |
| 1976 | 4.356            | 54.420,90                | 67.093,20   | 121.514,10 | 2001 | 19.547           | 19.363,35                | 73.934,19   | 93.297,54  |
| 1977 | 2.064            | 27.899,40                | 40.971,50   | 68.870,90  | 2002 | 19.929           | 25.196,91                | 82.267,14   | 107.464,05 |
| 1978 | 8.193            | 152.962,90               | 271.995,00  | 424.957,90 | 2003 | 18.616           | 53.673,03                | 94.499,44   | 148.172,47 |
| 1979 | 6.189            | 75.493,30                | 122.161,75  | 197.655,05 | 2004 | 21.396           | 51.732,17                | 82.460,47   | 134.192,64 |
| 1980 | 7.075            | 91.410,90                | 170.103,90  | 261.514,80 | 2005 | 25.492           | 69.396,79                | 119.300,70  | 188.697,49 |
| 1981 | 10.688           | 135.539,60               | 155.877,50  | 291.417,10 | 2006 | 16.334           | 71.064,87                | 84.279,96   | 155.344,83 |
| 1982 | 6.308            | 62.558,20                | 86.518,90   | 149.077,10 | 2007 | 10.936           | 29.408,86                | 56.713,17   | 86.122,03  |
| 1983 | 4.736            | 50.672,00                | 56.879,00   | 107.551,00 | 2008 | 11.655           | 8.443,49                 | 41.878,60   | 50.322,09  |
| 1984 | 7.073            | 53.962,50                | 110.203,60  | 164.166,10 | 2009 | 15.643           | 40.402,48                | 79.691,73   | 120.094,21 |
| 1985 | 12.235           | 176.265,20               | 308.210,00  | 484.475,20 | 2010 | 11.722           | 10.184,91                | 44.584,97   | 54.769,88  |

**Cuadro 1.1.** Número de siniestros y superficies afectadas, 1961-2010. (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente)

Como todo fenómeno dependiente de la meteorología, tanto el número de siniestros como las superficies afectadas presentan años con picos que desestabilizan las tendencias. El mayor número de siniestros se produjo en 1995 con un total de 25.557 y el año de mayor superficie forestal afectada fue 1985 con 484.475,20 hectáreas.

El Cuadro 1.2 muestra la comparación de las principales variables en los distintos decenios. La suma de las superficies de los distintos años no es la superficie total recorrida por el fuego, ni puede ser utilizada para obtener porcentajes respecto a la superficie forestal existente ya que, en ocasiones, una misma área puede haber sido afectada por diferentes siniestros. Por el contrario, el número de siniestros sí puede ser objeto de suma.

En los Gráficos 1.2, 1.3 y 1.4 detallan la evolución de las tres variables en los últimos cinco decenios. El número de siniestros muestra por primera vez en este último decenio una tendencia decreciente, debida a los datos desde el año 2006, tras el máximo relativo de 25.492 siniestros en 2005.

En cuanto a superficies arboladas se aprecia una tendencia creciente en la década de los 70, una estabilización en los 80, una tendencia decreciente en los 90 y finalmente de nuevo una tendencia a la estabilización en este último periodo de 2001-2010, con unas cifras inferiores a las de las décadas precedentes.

Cartografiado del peligro de incendio forestal para la comarca de Tafalla (Navarra).

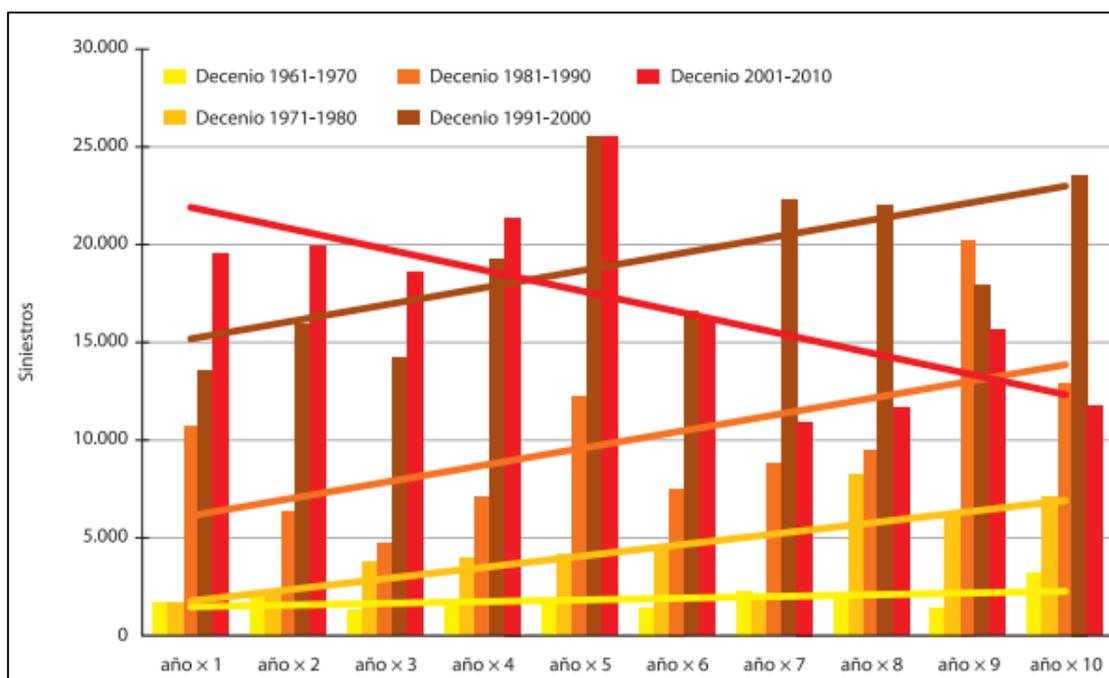
| Nº de siniestros  |       |                   |       |                   |        |                   |        |                   |        |
|-------------------|-------|-------------------|-------|-------------------|--------|-------------------|--------|-------------------|--------|
| Decenio 1961-1970 |       | Decenio 1971-1980 |       | Decenio 1981-1990 |        | Decenio 1991-2000 |        | Decenio 2001-2010 |        |
| Año               | Nº    | Año               | Nº    | Año               | Nº     | Año               | Nº     | Año               | Nº     |
| 1961              | 1.680 | 1971              | 1.665 | 1981              | 10.688 | 1991              | 13.529 | 2001              | 19.547 |
| 1962              | 2.022 | 1972              | 2.093 | 1982              | 6.308  | 1992              | 15.956 | 2002              | 19.929 |
| 1963              | 1.302 | 1973              | 3.724 | 1983              | 4.736  | 1993              | 14.253 | 2003              | 18.616 |
| 1964              | 1.645 | 1974              | 3.920 | 1984              | 7.073  | 1994              | 19.249 | 2004              | 21.396 |
| 1965              | 1.686 | 1975              | 4.128 | 1985              | 12.235 | 1995              | 25.557 | 2005              | 25.492 |
| 1966              | 1.443 | 1976              | 4.356 | 1986              | 7.514  | 1996              | 16.586 | 2006              | 16.334 |
| 1967              | 2.299 | 1977              | 2.064 | 1987              | 8.816  | 1997              | 22.320 | 2007              | 10.936 |
| 1968              | 2.038 | 1978              | 8.193 | 1988              | 9.440  | 1998              | 22.003 | 2008              | 11.655 |
| 1969              | 1.442 | 1979              | 6.189 | 1989              | 20.250 | 1999              | 17.943 | 2009              | 15.643 |
| 1970              | 3.155 | 1980              | 7.075 | 1990              | 12.914 | 2000              | 23.574 | 2010              | 11.722 |
| Media             | 1.871 | Media             | 4.341 | Media             | 9.997  | Media             | 19.097 | Media             | 17.127 |

| Superficie forestal arbolada recorrida por el fuego (ha) |        |                   |         |                   |         |                   |         |                   |        |
|----------------------------------------------------------|--------|-------------------|---------|-------------------|---------|-------------------|---------|-------------------|--------|
| Decenio 1961-1970                                        |        | Decenio 1971-1980 |         | Decenio 1981-1990 |         | Decenio 1991-2000 |         | Decenio 2001-2010 |        |
| Año                                                      | Sup.   | Año               | Sup.    | Año               | Sup.    | Año               | Sup.    | Año               | Sup.   |
| 1961                                                     | 34.056 | 1971              | 12.787  | 1981              | 135.540 | 1991              | 116.896 | 2001              | 19.363 |
| 1962                                                     | 23.911 | 1972              | 17.370  | 1982              | 62.558  | 1992              | 40.438  | 2002              | 25.197 |
| 1963                                                     | 13.279 | 1973              | 40.496  | 1983              | 50.672  | 1993              | 33.421  | 2003              | 53.673 |
| 1964                                                     | 17.671 | 1974              | 58.039  | 1984              | 53.963  | 1994              | 250.422 | 2004              | 51.732 |
| 1965                                                     | 21.777 | 1975              | 107.724 | 1985              | 176.265 | 1995              | 42.131  | 2005              | 69.397 |
| 1966                                                     | 24.644 | 1976              | 54.421  | 1986              | 113.852 | 1996              | 10.275  | 2006              | 71.065 |
| 1967                                                     | 33.930 | 1977              | 27.899  | 1987              | 49.355  | 1997              | 21.326  | 2007              | 29.409 |
| 1968                                                     | 20.015 | 1978              | 152.963 | 1988              | 39.263  | 1998              | 42.705  | 2008              | 8.443  |
| 1969                                                     | 18.860 | 1979              | 75.493  | 1989              | 163.171 | 1999              | 23.934  | 2009              | 40.402 |
| 1970                                                     | 34.136 | 1980              | 91.411  | 1990              | 73.198  | 2000              | 45.900  | 2010              | 10.185 |
| Media                                                    | 24.228 | Media             | 63.860  | Media             | 91.784  | Media             | 62.745  | Media             | 37.887 |

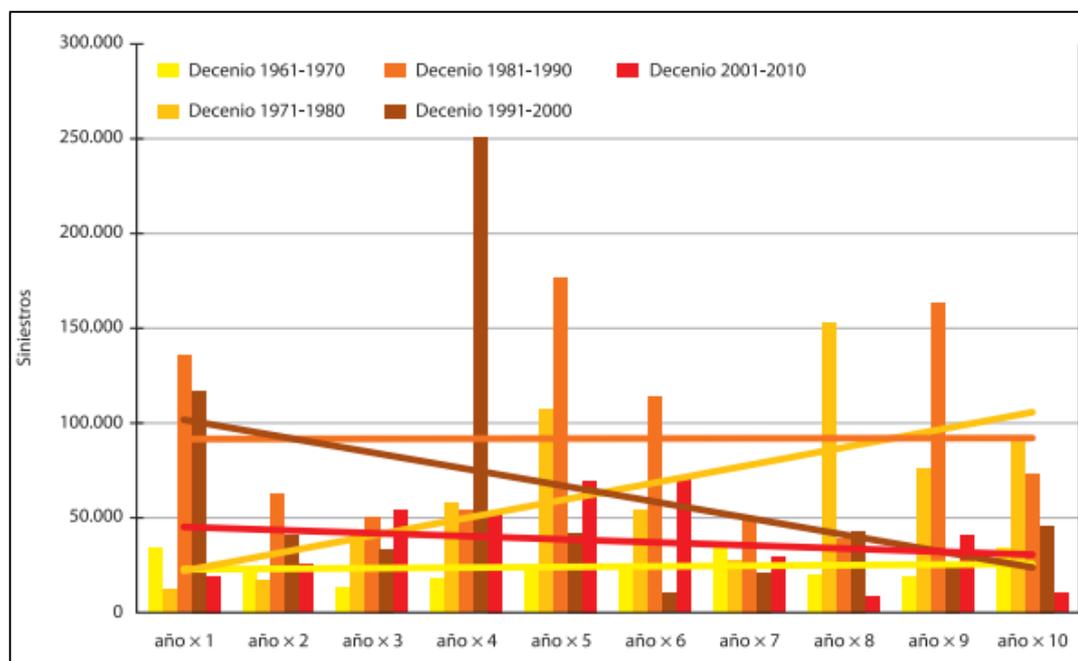
| Superficie forestal total recorrida por el fuego (ha) |        |                   |         |                   |         |                   |         |                   |         |
|-------------------------------------------------------|--------|-------------------|---------|-------------------|---------|-------------------|---------|-------------------|---------|
| Decenio 1961-1970                                     |        | Decenio 1971-1980 |         | Decenio 1981-1990 |         | Decenio 1991-2000 |         | Decenio 2001-2010 |         |
| Año                                                   | Sup.   | Año               | Sup.    | Año               | Sup.    | Año               | Sup.    | Año               | Sup.    |
| 1961                                                  | 46.251 | 1971              | 34.312  | 1981              | 291.417 | 1991              | 260.303 | 2001              | 93.298  |
| 1962                                                  | 55.482 | 1972              | 55.920  | 1982              | 149.077 | 1992              | 105.278 | 2002              | 107.464 |
| 1963                                                  | 22.679 | 1973              | 95.073  | 1983              | 107.551 | 1993              | 89.331  | 2003              | 148.172 |
| 1964                                                  | 31.398 | 1974              | 139.928 | 1984              | 164.166 | 1994              | 437.603 | 2004              | 134.193 |
| 1965                                                  | 38.018 | 1975              | 180.137 | 1985              | 484.475 | 1995              | 141.082 | 2005              | 188.697 |
| 1966                                                  | 49.354 | 1976              | 121.514 | 1986              | 264.787 | 1996              | 58.919  | 2006              | 155.345 |
| 1967                                                  | 76.575 | 1977              | 68.871  | 1987              | 147.340 | 1997              | 98.503  | 2007              | 86.122  |
| 1968                                                  | 55.702 | 1978              | 424.958 | 1988              | 137.273 | 1998              | 132.892 | 2008              | 50.322  |
| 1969                                                  | 53.172 | 1979              | 197.655 | 1989              | 407.122 | 1999              | 81.681  | 2009              | 120.094 |
| 1970                                                  | 87.439 | 1980              | 261.515 | 1990              | 203.641 | 2000              | 187.567 | 2010              | 54.770  |
| Media                                                 | 51.607 | Media             | 157.988 | Media             | 235.685 | Media             | 159.316 | Media             | 113.848 |

**Cuadro 1.2.** Comparación de cifras de los últimos cinco decenios. *(Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente)*

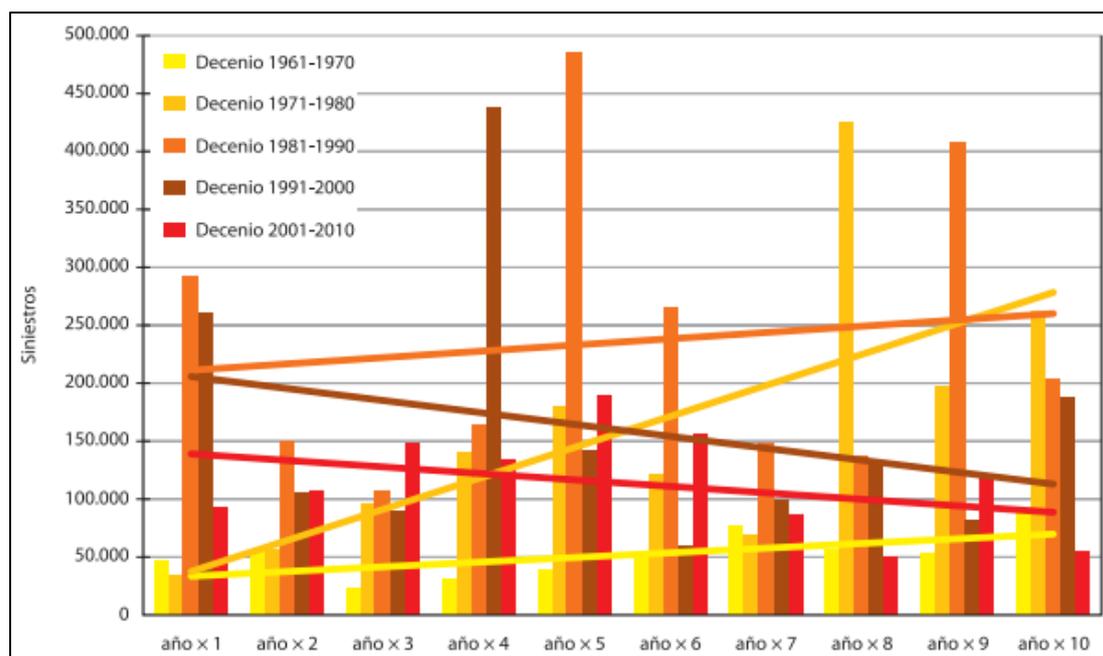


**Gráfico 1.2.** Evolución del número de siniestros por decenios. (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente)

Y respecto de las superficies forestales totales afectadas se aprecia en el Gráfico 1.4 una tendencia decreciente del último decenio, con una pendiente menor que la del decenio anterior de los años 90, pero con cifras absolutas menores, situándose la media de hectáreas afectadas en el periodo 2001-2010 en 113.848.



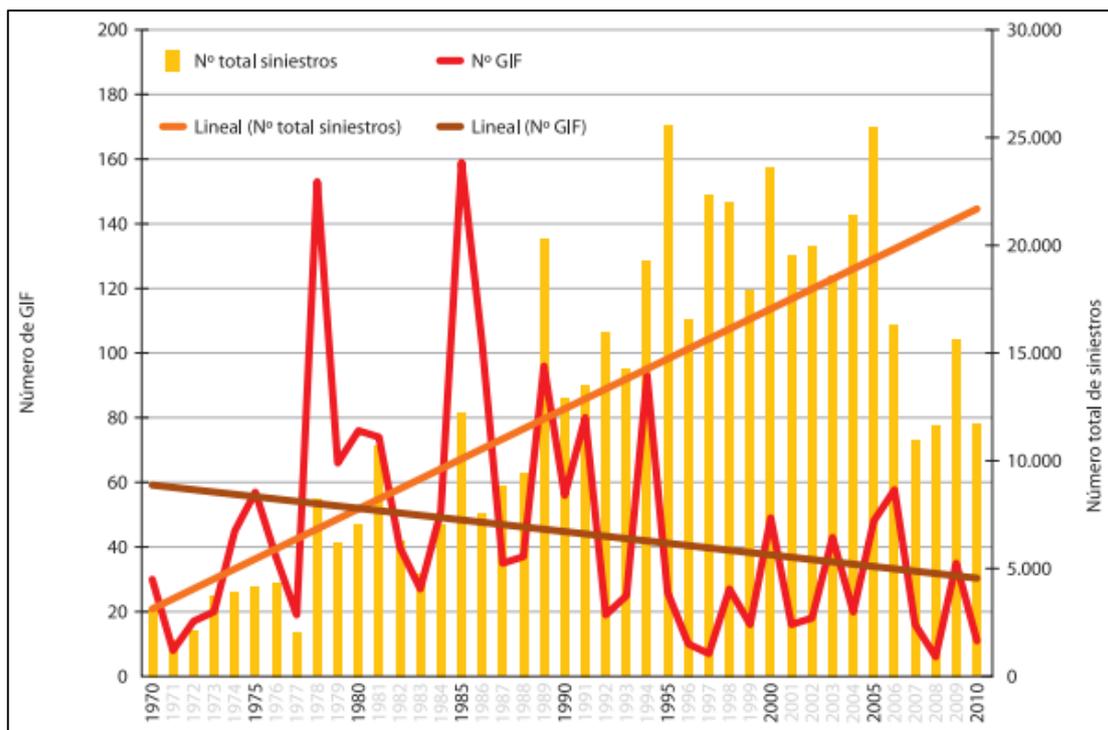
**Gráfico 1.3.** Evolución de la superficie forestal arbolada afectada por decenios. (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente)



**Gráfico 1.4.** Evolución de la superficie forestal total afectada por decenios. (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente)

### 2.1.1 Grandes Incendios (GIF). Historia.

Se definen como Grandes Incendios Forestales (GIF) aquellos de más de 500 hectáreas de superficie forestal afectada. Al no ocurrir gran número de estos siniestros por año, y a pesar de que los impactos puedan ser muy diferentes en función del tamaño y el tipo de la superficie forestal afectada, se considera una clasificación consistente, que está siendo adquirida por el resto de países europeos.



**Gráfico 3.1.** Evolución del número total de siniestros y de los grandes incendios forestales, 1970-2010. (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente)

La evolución del número de grandes incendios forestales junto con la del total de siniestros así como ambas tendencias en casi cuatro décadas, desde el año 1970 al 2010.

Durante la segunda mitad del decenio 2001-2010, el número total de siniestros muestra una tendencia descendente, mientras que el número de GIF mantiene una tendencia estable.

La década 1980-1989 fue el periodo en el que se registró una mayor incidencia de los grandes incendios forestales, con una media decenal de 70 GIF/año. Una de las causas de esto fue la ocurrencia de un largo periodo de sequía que se prolongó desde 1978 a 1984. 1978, primer año de este periodo seco, registró el segundo valor máximo en número de grandes incendios, 153, 108 incendios más que la media de la década de los 70, que se situó en 45 grandes incendios forestales por año.

A partir de este año 1978, se registra un número de grandes incendios forestales en progresión ascendente que culmina en los 159 grandes incendios ocurridos en 1985, registrándose el máximo número de GIF de este periodo 1970-2010, y superando este valor en 86 unidades el valor medio de la década de los 80, que se sitúa en 70 GIF. Le siguió un año 1986 con 103 GIF, el tercer valor más alto de la serie. Sin embargo el valor máximo en número total de siniestros, en dicha década, fue 1989 que superó a 1985 en 8.015 siniestros y que con 96 GIF, fue el cuarto año de mayor número de GIF y el primero en los últimos 21 años. La publicación de estadística de incendios forestales de 1989 señala la mayor sequía de la que se tenía noticia en el norte y oeste del país.

En los años 90, fue 1994, con 93 GIF, el peor año no tanto por número de siniestros sino por las superficies afectadas, que supusieron un 77 % de la superficie forestal total afectada por incendios forestales. Desde 1992 y hasta 1996 en España se vivió otro periodo de intensa sequía. A pesar de ello, la media anual de GIF descendió a 36, aproximadamente la mitad que en la década anterior.

En la última década 2001-2010 se ha consolidado esta tendencia ligeramente descendente en el número de GIF, manteniéndose bastante estable durante la primera mitad de la década y disminuyendo sensiblemente los últimos años. Han sido 2000, 2005 y 2006 los que han presentado mayor número de GIF, con un máximo de 59 en el año 2006, 42 de los cuales se produjeron en Galicia en la primera quincena de agosto, donde los vientos del noreste, que soplaron desde finales de julio desecando la vegetación, arreciaron a partir del 4 de agosto. Esta situación de meteorología adversa, acompañada de un episodio de incendio, con la aparición de cientos de focos de fuego cada día, dio lugar a una gran superficie forestal afectada. En los últimos años, 2007, 2008 y 2009, el número de GIF ha descendido notablemente situándose en valores por debajo de la media del decenio, que se situó en 32 grandes incendios anuales. El valor mínimo de toda la serie histórica lo encontramos el año 2008, con seis grandes incendios forestales.

En 2010, el número de GIF ha quedado muy por debajo de la media del decenio 2000-2009 (11 GIF) y es el segundo año con menor número de GIF en los últimos trece años. Los GIF en 2010 se han concentrado en los meses de agosto y septiembre, asociados a unas circunstancias meteorológicas claramente desfavorables. (*Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente*)

## 2.2. Incendios forestales. Causas

Las causas de los incendios forestales se clasifican en cinco grandes grupos:

- Rayo.
- Negligencias y causas accidentales.
- Intencionadas.
- Desconocidas.
- Reproducciones de incendios anteriores.

Las causas accidentales y negligentes se dividen a su vez en diversos grupos de causas recogidas en el parte de incendio (quemadas agrícolas, quemadas para regeneración de pastos, trabajos forestales, hogueras, fumadores, etc.). Asimismo en las causas intencionadas se detalla la motivación, desglosadas éstas mediante códigos.

En el Cuadro 6.1 se muestra para el decenio las causas para el total nacional, detallando para cada tipo de causa el número de siniestros y la superficie afectada.

El porcentaje de siniestros con causa conocida para el conjunto del decenio supera el 84,62 % del total.

El 78 % del total de los siniestros tienen origen antrópico, bien sean debidos a negligencias y causas accidentales, bien sean intencionados, afectando éstos al 82,6 % de la superficie total forestal.

| Causa                                | Nº de siniestros |               |                 | Nº de causantes identificados | Superficies       |                   |                     |                      |
|--------------------------------------|------------------|---------------|-----------------|-------------------------------|-------------------|-------------------|---------------------|----------------------|
|                                      | Tipo de causa    |               | Total           |                               | Vegetación leñosa |                   | Vegetación herbácea | Total forestal       |
|                                      | Cierta           | Supuesta      |                 |                               | Arbolada          | No Arbolada       |                     |                      |
| Rayo                                 | 6.576            | 923           | 7.499           | 7.499                         | 37.175,67         | 35.377,12         | 10.762,15           | 83.314,94            |
| Quema agrícola                       | 4.972            | 3.810         | 8.782           | 2.658                         | 11.100,24         | 11.252,31         | 5.821,67            | 28.174,22            |
| Quema para reg. pastos               | 2.066            | 3.168         | 5.234           | 428                           | 2.854,00          | 20.742,89         | 7.082,97            | 30.679,86            |
| Trabajos forestales                  | 1.434            | 532           | 1.966           | 1.158                         | 3.844,68          | 3.822,31          | 883,27              | 8.550,26             |
| Hogueras                             | 1.019            | 700           | 1.719           | 418                           | 14.364,77         | 6.390,61          | 2.014,35            | 22.769,73            |
| Fumadores                            | 979              | 2.277         | 3.256           | 140                           | 6.645,37          | 7.838,85          | 2.848,50            | 17.332,72            |
| Quema de basuras                     | 864              | 841           | 1.705           | 278                           | 2.902,06          | 5.041,83          | 1.814,32            | 9.758,21             |
| Escape de vertedero                  | 732              | 407           | 1.139           | 1.073                         | 1.733,66          | 3.905,45          | 1.903,13            | 7.542,24             |
| Quema de matorral                    | 1.298            | 1.576         | 2.874           | 308                           | 1.507,73          | 5.198,96          | 528,52              | 7.235,21             |
| Ferrocarril                          | 603              | 368           | 971             | 971                           | 3.721,84          | 3.323,67          | 2.159,31            | 9.204,82             |
| Líneas eléctricas                    | 1.616            | 559           | 2.175           | 2.175                         | 9.144,87          | 9.234,21          | 4.763,20            | 23.142,28            |
| Motores y máquinas                   | 2.773            | 1.022         | 3.795           | 2.132                         | 12.833,54         | 19.749,02         | 10.973,56           | 43.556,12            |
| Maniobras militares                  | 72               | 11            | 83              | 68                            | 3.649,79          | 4.356,69          | 2.990,49            | 10.996,97            |
| Otras                                | 2.592            | 3.534         | 6.126           | 1.056                         | 12.307,83         | 19.352,26         | 12.729,98           | 44.390,07            |
| <b>Neglig. y causas accidentales</b> | <b>21.020</b>    | <b>18.805</b> | <b>39.825</b>   | <b>12.863</b>                 | <b>86.610,38</b>  | <b>120.209,06</b> | <b>56.513,27</b>    | <b>263.332,71</b>    |
| Intencionado                         | 17.167           | 76.322        | 93.489          | 1.428                         | 222.724,80        | 388.198,07        | 65.544,92           | 676.467,79           |
| Desconocida                          | 26.267           | 0             | 26.267          | 1                             | 26.060,04         | 54.112,49         | 18.001,87           | 98.174,40            |
| Reproducción                         | 1.584            | 2.158         | 3.742           | 3.703                         | 6.102,12          | 8.915,34          | 1.258,40            | 16.275,86            |
| <b>TOTALES</b>                       | <b>72.614</b>    | <b>98.208</b> | <b>170.822*</b> | <b>25.494</b>                 | <b>378.673,01</b> | <b>606.812,08</b> | <b>152.080,61</b>   | <b>1.137.565,70*</b> |

\* No incluye los datos de Navarra para el año 2001 (448 siniestros y 911,53 ha de superficie total afectada) por no disponer de ellos desglosados por causa y tipo de vegetación afectada.

**Cuadro 6.1.** Análisis de causas de incendios: total de montes, 2001-2010. (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente)

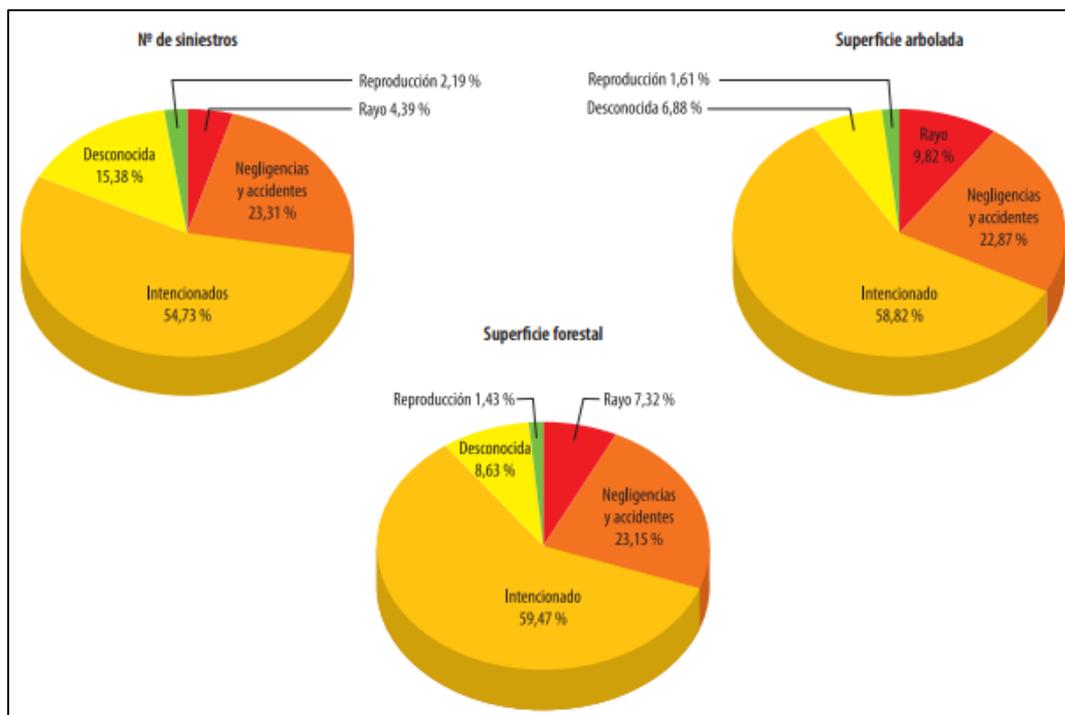
Los incendios intencionados son los más numerosos, representan más de la mitad del total y el 60 % de la superficie afectada. Dado que la intencionalidad incluye tanto acción dolosa como culposa del causante, se incluyen en este apartado las quemas agrícolas, de eliminación de matorral y de regeneración de pastos que se dejan arder de forma incontrolada, afectando al monte.

Dentro de las negligencias y accidentes, responsables del 23,31 % de los siniestros y del 23,15 % de la superficie afectada, las quemas agrícolas junto con las quemas para regeneración de pastos son las que mayor porcentaje suponen tanto en número de siniestros (8,21 %) como en superficie afectada (5,17 %), a excepción de la tipología “otras”.

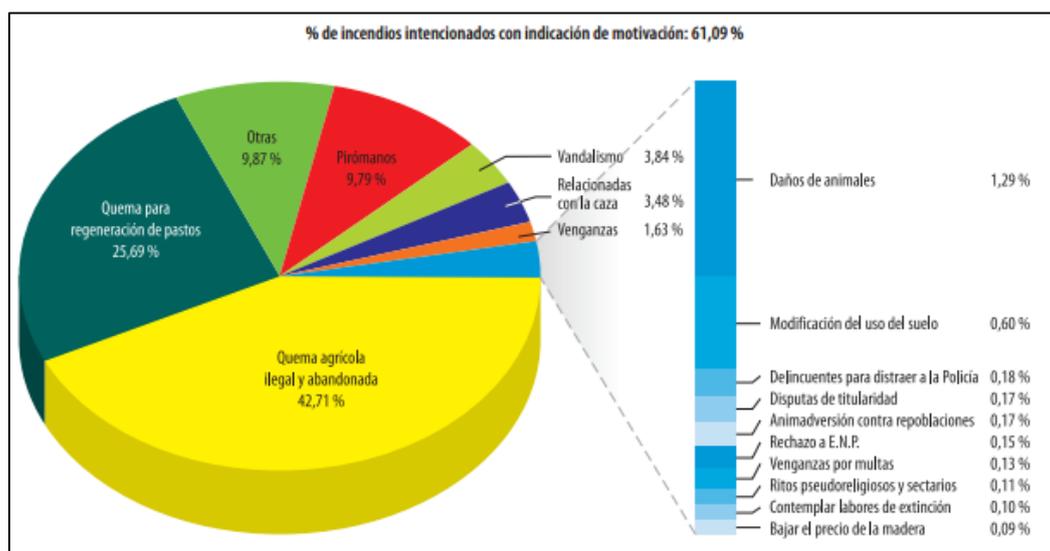
En el Gráfico 6.1 se representan según estos cinco grupos de causas el número de siniestros y las superficies afectadas arbolada y forestal para el conjunto nacional y para el decenio.

Debido a las grandes diferencias de casuística existentes entre las diferentes zonas de la geografía española, los Gráficos 6.2, 6.3 y 6.4 muestran el número de siniestros y las superficies afectadas por áreas geográficas. Cabe destacar los altos porcentajes, tanto en número de siniestros como en superficies afectadas, de la intencionalidad en el Noroeste. También en Canarias la superficie forestal afectada corresponde en su mayoría a incendios intencionados, si bien el porcentaje de éstos, en relación al número total de siniestros se sitúa en torno a un tercio del total, igual que para las Comunidades Interiores y el Mediterráneo. En éstas últimas tienen un peso importante en número los siniestros debidos a negligencias y causas accidentales, que

suponen en las Comunidades Interiores el 43 % y en el Mediterráneo el 46 % respecto al total. La mayoría de los incendios producidos por rayo se concentran en las Comunidades Interiores y en el área del Mediterráneo.



**Gráfico 6.1.** Número de siniestros y superficies afectadas por grupos de causas, 2001-2010. (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente)



**Gráfico 6.5.** Motivaciones de incendios intencionados, 2001-2010. (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente)

### **2.3. La defensa contra los incendios forestales en España durante el decenio 2001-2010**

El decenio 2001-2010 se caracteriza por ser el primer periodo en el que la tendencia en el número de siniestros es decreciente, debido fundamentalmente a las cifras alcanzadas en los últimos cinco años 2006-2010. Las superficies, al igual que en el decenio anterior, siguen la tendencia decreciente y en términos absolutos siguen disminuyendo, con cifras cada vez más similares a las alcanzadas hace cuatro decenios.

#### **2.3.1. Equipos de prevención integral de incendios forestales (EPRIF)**

Desde su creación, en 1998, los Equipos de Prevención Integral de Incendios Forestales (EPRIF) han crecido en número y en zonas de actuación. En la actualidad un total de 18 EPRIF trabajan, realizando actuaciones de prevención en diez Comunidades Autónomas, prestando apoyo técnico a sus administraciones y en coordinación con sus servicios forestales y de desarrollo rural, según los casos: Galicia (4), Asturias (3), Cantabria (1), Navarra (2), La Rioja (1), Castilla y León (3), Extremadura (1), Aragón (1), Comunidad Valenciana (1) y Canarias (1). Se trata de equipos formados por un total de 56 profesionales de la extinción de incendios forestales y del manejo del fuego que, fuera de la campaña estival de extinción, entre el mes de noviembre y el mes de abril, trabajan en prevención de incendios. Su función es fomentar entre la población rural buenas prácticas que contribuyan a disminuir el riesgo de incendio forestal. Realizan acciones directas de prevención de incendios forestales con población adulta, actuando sobre los problemas y las causas que suelen originar incendios, en comarcas con alto riesgo. En particular, su objetivo es reducir la incidencia de incendios debidos fundamentalmente a la quema de pastos, matorrales o restos agrícolas realizada de forma ilegal y sin control. Éstos, según la base de datos EGIF, representan en España más del 75 % de los incendios intencionados, si bien atienden otro tipo de causas de incendios como los conflictos de intereses de uso del territorio o las negligencias.

#### **2.3.2. Brigada de labores preventivas**

En octubre de 2008, con la creación de las Brigadas de Labores Preventivas, se dio un paso más para la continuidad laboral y la profesionalización del personal que en verano trabaja en la extinción de incendios forestales. Este dispositivo complementario, junto con el de EPRIF, emplea fuera de la campaña de extinción al personal de las Brigadas de Refuerzo en Incendios Forestales (BRIF) del Ministerio. Las diez Brigadas de Labores Preventivas, con aproximadamente 500 profesionales, se ubican en las bases BRIF distribuidas en distintos puntos de la geografía nacional. Realizan labores selvícolas de prevención, consistentes en la reducción y el control de combustibles forestales, haciendo más resistentes los montes al inicio y propagación del fuego y facilitando las acciones de extinción en caso de producirse un incendio.

#### **2.3.3. Campañas de sensibilización**

Durante el decenio 2001-2010, el Ministerio de Medio Ambiente continuó desarrollando las campañas de sensibilización para la prevención de incendios forestales. Anualmente se realiza una campaña dirigida a la población en general, para recordar en la época estival el elevado riesgo de incendios que amenaza nuestros montes y la necesidad de que todos extrememos las precauciones y contribuyamos a prevenir los incendios forestales. La herramienta utilizada ha

seguido siendo la publicidad en medios de comunicación tradicionales, televisión, prensa y radio, y en otros soportes como vallas y cartelera.

En el caso de la población escolar, anualmente se han realizado visitas a más de mil centros escolares de toda España con propuestas didácticas de educación ambiental, para sensibilizarles frente a la amenaza de los incendios forestales, de forma lúdica y participativa.

#### **2.3.4. Aprovechamiento de la biomasa forestal**

En el decenio 2001-2010 se han realizado numerosos ensayos para determinar los rendimientos y costes de extracción de los restos de biomasa forestal para su valoración energética procedentes de aprovechamientos forestales. Los principales resultados demuestran que su viabilidad económica depende del planteamiento y ejecución del propio aprovechamiento forestal. Por tanto, este aprovechamiento principal debe realizarse con unas directrices adecuadas para que la recogida y astillado de los restos no resulte excesivamente cara y compense su transporte y utilización para producir energía. Con el fin de fomentar el uso energético de los restos de aprovechamientos forestales y de los productos obtenidos de tratamientos silvícolas de mejora (clareos y claras e incluso podas) o preventivos (cortas en áreas cortafuegos o fajas auxiliares) se elaboró y aprobó por la Comisión Estatal del Patrimonio Natural y la Biodiversidad y tal como establecía el mandato de la ley 43/2003, de montes, modificada por la ley 10/2006 en su disposición adicional 4ª, la Estrategia Española para el Uso Energético de la Biomasa Forestal Residual y se puso de manifiesto la urgencia de elaborar una nueva estrategia que contemplara toda la biomasa forestal susceptible de este uso y no sólo la procedente de restos de aprovechamientos. Por otra parte desde el año 2005, la Administración General del Estado, mediante el Real Decreto-Ley 11/2005, de 22 de julio, por el que se aprueban medidas urgentes en materia de incendios forestales, en su artículo 16 establece un Fondo para la Financiación por el entonces Ministerio de Medio Ambiente de Planes de Aprovechamiento de Biomasa Forestal Residual.

#### **2.3.5. La tecnología utilizada en la defensa contra los incendios forestales**

El decenio 2001-2010 ha supuesto el desembarco masivo de las nuevas tecnologías en el campo de los incendios forestales. El avance conseguido en el anterior decenio se consolida y multiplica, aprovechando los avances que en los sectores de las telecomunicaciones, la informática y los sistemas de satélites permiten.

La gran mayoría de las Comunidades Autónomas desarrollan aplicaciones meteorológicas propias para valorar el riesgo asociado a los incendios. El Ministerio de Medio Ambiente desarrolló una aplicación propia a través de una empresa privada y con la imprescindible colaboración del Instituto Nacional de Meteorología (hoy Agencia Estatal de Meteorología), que permite tener predicciones e interpretación del riesgo, de acceso libre a las Administraciones públicas, con un formato homogéneo a nivel nacional. La evolución de las comunicaciones se ha orientado hacia los sistemas corporativos cerrados, tipo Tetra, que integran por primera vez la transmisión de datos además de voz, pudiendo transmitir incluso la posición GPS del portador de la emisora. Estos sistemas aseguran en principio la estanqueidad de las comunicaciones, con comunicaciones libres de intrusos y no interrumpidas por tráfico denso de llamadas. Las emisoras convencionales, por su parte, se han digitalizado y han incrementado sus funcionalidades y su ergonomía. Por otra parte, estos adelantos tecnológicos han derivado en

una diversificación de sistemas de comunicaciones que dificultan la asistencia mutua entre operativos y la movilidad de los medios de cobertura nacional, de manera que en la actualidad se están estudiando soluciones especialmente desde el punto de vista de la seguridad. El empleo de Unidades Móviles como Puesto de Mando Avanzado (PMA) se ha generalizado durante este periodo en todas las Administraciones. En 2003, El Ministerio de Medio Ambiente reformó las antiguas Unidades Móviles de Meteorología y Transmisiones (UMMT), sustituyéndolas por vehículos tipo furgón de mayores dimensiones, dotándolos de nuevos equipos meteorológicos, de comunicaciones, informáticos y de recepción de imágenes desde aeronaves. La UMMT cumple su principal labor cuando es utilizada como PMA.

La localización sobre el terreno de las unidades operativas se ha extendido a todos los niveles, no siendo sólo las aeronaves las que disponen de seguimiento GPS, sino también las unidades terrestres, tanto vehículos como personas, pudiendo efectuar el seguimiento de los mismos e incluso transmitirles datos, así mismo todas las aplicaciones relacionadas con el GPS se han integrado con sistemas GIS permitiendo con gran agilidad combinar posición y entorno físico. La observación terrestre se ha trasladado mayoritariamente a los medios aéreos o a los satélites, debido a la alta tecnología que ya emplean las cámaras aerotransportadas como los sensores de los satélites, que permiten una alta resolución de imágenes, tanto en el espectro visual como infrarrojo, así como el empleo de coloración artificial relacionado con el estudio de diversas variables del medio físico. El uso de estas tecnologías, tanto en la campaña de incendios como fuera de ella se ha generalizado para la observación, estudio, análisis e interpretación del estado y comportamiento del medio físico en relación a la casuística de los incendios forestales. En las centrales de operaciones se han integrado todas las funciones descritas sobre una base GIS de manera que la información es manejada en forma parecida a como se haría sobre el terreno. Están empezando a entrar en escena nuevos sistemas con previsión de futuro, como son las aeronaves no tripuladas, el empleo mecanizado de tierra en la sofocación de las llamas, nuevos productos retardantes del fuego y nuevos equipos de lanzamiento de agua. Los Equipos de Protección Individual (EPI) empleados en la extinción de incendios forestales han variado a medida que lo ha hecho su normativa reguladora. En la actualidad, prácticamente se han generalizado los tejidos ignífugos en la ropa de protección, que también incorporan materiales o formas de trama y urdimbre que dificultan el rasgado. Asimismo, cada vez es más común el uso de prendas de protección para cara y cuello. En la protección ocular se está incrementando el uso de gafas ligeras contra impactos, complementarias a las gafas estancas contra calor y humo. Los mayores avances técnicos han aparecido en la protección de la cabeza, siendo cada vez más habituales los cascos que incorporan protección contra impactos laterales y sistemas de ventilación en el casquete. Entre los vehículos empleados en la extinción, se ha extendido la inclusión de sistemas de autoprotección incorporados o bien, accesorios que permiten implementar maniobras de autoprotección con un equipo convencional. Se inicia la incorporación de materiales y sistemas de ventilación destinados a convertir los habitáculos en lugares seguros en caso de atrapamiento. Por su parte, han aparecido sistemas de comunicación en los bulldozer orientados evitar accidentes con el personal externo de guía. Entre las herramientas manuales han hecho su aparición las multi-herramientas, que tratan de incorporar en una sola herramienta diversas funciones de corte y raspado. Aunque su uso es cada vez más común no han logrado sustituir para sus funciones específicas a las herramientas tradicionales más empleadas. (*Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente*)

#### **2.4 Los incendios forestales en Navarra**

De acuerdo con la Ley Foral 13/1990, modificada por Ley Foral 3/2007, de protección y desarrollo del Patrimonio Forestal de Navarra, corresponden a la Administración Forestal las

competencias en materia de prevención de incendios forestales y de participación en labores de extinción mediante el asesoramiento técnico a la Agencia Navarra de Emergencias.

Con carácter general y de acuerdo con esta Ley, está prohibido el uso del fuego en montes y terrenos forestales, en suelos rústicos de secano para la eliminación de rastrojo y se prohíbe, asimismo, la quema de ribazos, espueñas, cerros y, en general, la quema de arbustos y vegetación.

Además, anualmente se publican Órdenes Forales que regulan específicamente para períodos del año concretos, el uso del fuego en suelo no urbanizable o monte.

## **2.5. Factores que controlan los incendios forestales**

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

### **2.5.1. Meteorología**

Las variables meteorológicas que mayor papel juegan sobre el desarrollo de un incendio son la temperatura, la velocidad del viento, la humedad relativa y la estabilidad de la atmósfera. En los ambientes estables y secos del verano la energía que se recibe del sol aumenta la temperatura lo que hace que disminuya la humedad relativa del aire. Ambas variables (temperatura y humedad relativa del aire) controlan el estado de hidratación de los combustibles muertos. El viento es otro elemento crítico: la velocidad de propagación del frente de llamas es directamente proporcional a la velocidad del viento. Las situaciones de mayor peligro son aquellas que vienen acompañadas de vientos fuertes y secos. Son particularmente críticos los vientos de tipo föhn, esto es, aquellos que se dan a sotavento de las montañas como consecuencia de la compresión adiabática del aire al descender por sus laderas, siendo los causantes de algunos de los grandes incendios de España. El incendio calienta el aire y hace que se eleve, produciendo una depresión a la que fluye aire fresco, aportando el oxígeno que mantiene la combustión. Cuando hay viento, este efecto se ve aumentado a sotavento por el flujo producido por éste. La estabilidad de los niveles bajos de la atmósfera es determinante para que el viento local originado por el incendio sea más o menos intenso. Las situaciones de inestabilidad atmosférica favorecen el movimiento vertical del aire caliente, facilitando el movimiento lateral del aire hacia el frente de llamas. Por el contrario, bajo condiciones de estabilidad los incendios son relativamente menos peligrosos. Así, con dos parámetros de la estabilidad atmosférica Díez et al. (2000) calcularon con alto nivel de precisión la ocurrencia

diaria de incendios en Galicia. Las situaciones sinópticas que determinan los estados de la atmósfera son, por tanto, determinantes de la ocurrencia de incendios forestales. Éstas determinan el flujo atmosférico y, a través de él, el viento, la precipitación o las descargas de rayos, entre otros. Consecuentemente, buena parte de los incendios ocurren bajo condiciones sinópticas determinadas (Bardají et al. 1998). Esto es similar en el resto del mundo. (*Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente*)

#### **2.5.1.1. Precipitación**

La influencia de la precipitación sobre el contenido de humedad del combustible es evidente, si bien no es fácil determinar la respuesta de la vegetación a distintas cantidades de precipitación.

La Zona media de Navarra se corresponde con un clima netamente mediterráneo, con una clara influencia atlántica en su parte occidental y mayor continentalidad hacia el Este. La precipitación media anual varía entre los 450 y los 1.100 mm y la temperatura media anual entre los 11 y los 14°C.

Influyen en la humedad ambiente y favorecen el crecimiento de las especies vegetales. También pueden favorecer la extinción del incendio

#### **2.5.1.2. Temperatura**

En vertical, la temperatura disminuye al aumentar la altitud (gradiente vertical).

- El gradiente vertical seco es de -1º C cada 100 m.
- El gradiente vertical húmedo varía entre -0,4º y 0,5º C cada 100 m.
- El gradiente vertical normal es próximo a -0,6º C cada 100 m.

El proceso diabático describe los efectos dinámicos de la atmosfera al desplazarse el aire en la vertical.

En la parte baja el aire está más comprimido, es más denso, y, como consecuencia, está más caliente a causa de la actividad molecular. Al ascender, una parcela de aire se expande, se enfría y, si tiene vapor de agua, se condensa. Al descender, una parcela de aire se comprime, se calienta y, si tiene humedad, se seca.

#### **2.5.1.3. Humedad**

Se entiende por humedad atmosférica la cantidad de vapor de agua contenido en el aire, carácter climatológico de primera magnitud muy relacionado, a través de diversos mecanismos físicos, con la nubosidad, la precipitación, la visibilidad y de forma muy especial con la temperatura. Es un parámetro de laboriosa y compleja medición dependiente a su vez, de la temperatura y otros factores como la humedad absoluta o el contenido de vapor de agua del aire. Posee gran variabilidad. Partiendo del conocimiento de las precipitaciones medias mensuales, anteriormente estudiadas y de la evapotranspiración mensual estimada estudiada en este apartado, es posible estudiar el balance del agua en el suelo a lo largo del año. Conocer el balance de humedad en el suelo es importante para evaluar la disponibilidad de agua para las masas forestales, ya sean repoblación forestal o los cultivos, para la conservación de suelos, de drenaje, de recuperación de suelos salinos, etc. Junto con la humedad, son parámetros particularmente importantes en la planificación forestal y agrícola. La evapotranspiración (ETP) es el proceso por el cual el agua es transferida desde la superficie terrestre hacia la atmósfera en un periodo de tiempo considerado. Incluye tanto la evaporación de agua en forma sólida

como líquida directamente del suelo o desde las superficies vegetales vivas o muertas (rocío, escarcha, lluvia interceptada por la vegetación), como las pérdidas de agua a través de las superficies vegetales, particularmente las hojas. El agua disponible para evaporar será la que cae como precipitación en dicho periodo considerado y la que mantiene el suelo. Se presenta en la siguiente tabla la ETP media mensual para cada una de las estaciones y para los distintos meses del año

La materia vegetal es altamente higroscópica, es decir, que absorbe o exhala fácilmente la humedad. Por consiguiente, su humedad está en estrecha relación con la humedad del aire y absorbe ésta hasta que se satura y equilibra con la del ambiente; se alcanza entonces lo que se denomina humedad de equilibrio higroscópico. Si la humedad relativa del aire aumenta, también lo hará la de los vegetales y, al revés, si disminuye, se desecarán. Resumiendo: Cuanto mayor sea la humedad relativa del aire el riesgo de incendio será menor, pues el calor que llega se emplea en evaporar el agua con el consiguiente enfriamiento. (*Adrián Jordán Tablado, 2010*)

#### 2.5.1.4. Viento

El viento es el movimiento del aire sobre la superficie terrestre. Este movimiento se desencadena debido a la presencia de masas de aire de diferentes temperaturas. El aire caliente pesa menos y asciende, volviendo a la superficie terrestre por efecto de la gravedad en áreas más frías. La diferencia de temperaturas a su vez provoca una diferencia de presiones atmosféricas, de tal modo que se establecerá una circulación entre los centros de alta y baja presión. La fuerza con la que se mueve el aire depende de la distancia entre los centros de presión y el gradiente de los mismos.

La topografía tiene una función significativa en la velocidad y dirección del viento general. Como consecuencia de las diferencias de temperatura entre el aire próximo a una ladera y el que está lejos de ella, pero al mismo nivel, se producen vientos locales diarios ascendentes y descendentes. Vientos ascendentes se producen durante el día, especialmente en laderas de solana (velocidad: entre 13 y 19 km/h) Vientos descendentes se producen durante la noche (velocidad entre 1 y 8 km/h). Por las mismas razones, pero a mayor escala que en el caso de laderas, son los vientos de valle (velocidad: vientos ascendentes de día, de 16 a 32 km/h; vientos descendentes de noche, de 12 a 25 km/h).

Los vientos citados son locales. El viento general amplía o retarda, según su dirección y fuerza, el efecto de los vientos locales. El viento foehn ocurre cuando un viento húmedo sopla sobre una cordillera, asciende perdiendo humedad, y desciende al otro lado de las montañas cálido y seco.

Efectos del viento en la propagación de los incendios:

- Desecación del combustible forestal al acelerar la transpiración de las plantas por descenso de la humedad relativa del aire.
- Incremento de la intensidad de reacción al añadir mayores cantidades de un reactivo, el oxígeno, al proceso químico de la combustión.
- Inclinación de la llama, lo que provoca mayor eficacia en los procesos de transmisión de energía por radiación al incidir ésta de forma más perpendicular sobre el combustible adyacente.
- Incremento ladera arriba de la eficacia de la transmisión de energía por convección, aumentando su dinamismo. Este efecto es tanto más acusado cuanto mayor es la pendiente de la ladera por la que asciende el fuego.

- Mayor alcance de los materiales incandescentes, pavesas, que ascienden por el vértice de la columna de convección y que pueden ser origen de focos secundarios.

### **2.5.2. Combustible**

Humedad del combustible ligero vivo: El contenido en humedad de los combustibles finos vivos varía a lo largo del año, siendo máximo en primavera y mínimo a finales de verano. El contenido en humedad está relacionado con la fenología y disponibilidad de agua en el suelo, por lo que se relaciona bien con índices de sequía. La relación es tal que los efectos más importantes ocurren en las fases primeras de falta de agua en el suelo. Esta relación varía según las especies. Así, el contenido de humedad de las especies pioneras suelen variar más, y está más estrechamente vinculado a la ocurrencia de lluvia que el de otras especies más tardías en la sucesión, y con acceso a agua a mayor profundidad. Por tanto, el estado de los combustibles vivos depende de cuánto llueve y de cuándo llueve. Igualmente, el contenido en humedad puede variar con la edad de la planta.

Composición química: Además del agua, la composición química de los vegetales determina su contenido energético e inflamabilidad. Las sustancias extractivas en éter (aceites esenciales, resinas, etc.) favorecen la inflamabilidad. Las especies forestales sufren variaciones estacionales acusadas en su contenido químico, haciendo que su inflamabilidad cambie también a lo largo del año.

Humedad del combustible ligero muerto: La humedad de los combustibles vivos se mantiene debido al transporte de agua desde el suelo, de ahí que las hojas vivas y ramas tengan contenidos de humedad relativamente altos incluso en épocas secas. Sin embargo, el contenido de los combustibles muertos fluctúa ampliamente en respuesta a las variaciones en la humedad relativa del aire, junto con la lluvia, o la radiación solar, entre los tres factores más importantes. La propagación del fuego es muy sensible al combustible ligero muerto ( $l < 6$  mm), pues es el que más rápidamente se inflama al estar expuesto a un foco calorífico. Además, este combustible también es el que se ajusta más rápidamente a las condiciones meteorológicas. La humedad de los combustibles muertos en pie varía a lo largo del año, siendo más baja en verano. En atmósferas estables, la humedad relativa disminuye al aumentar la temperatura, de ahí que el contenido en humedad de estos combustibles sea máximo a primeras horas del día y mínimo al comenzar la tarde. Igualmente, el contenido en humedad de la hojarasca depende de las condiciones meteorológicas, de su exposición al sol así como del contenido en humedad del suelo. Cuanto más desecante sea la atmósfera y menor la humedad del suelo, más seca estará la hojarasca, lo que aumentará su inflamabilidad y combustibilidad, así como la de los combustibles muertos en pie. *(José M. Moreno)*

### **2.5.3. Topografía**

La propagación del fuego aumenta con el ángulo que ofrece la superficie al frente de llamas. Por ello, la propagación a favor de pendiente es rápida y peligrosa. Los incendios no ocurren al azar, sino que son más frecuentes en ciertas posiciones topográficas. Aunque la topografía no cambia, sí cambia la vegetación, sobre todo tras el fuego. Esto hace que la peligrosidad de un sitio dado varíe con el tiempo en la medida que cambie la vegetación y según las condiciones topográficas del lugar donde ésta se asiente. *(José M. Moreno)*

## **2.6. Incendios Forestales. Efectos**

La persistencia de los incendios forestales incontrolados, que progresivamente están destruyendo ecosistemas mediterráneos y atlánticos, constituye un serio problema medioambiental, no sólo por las grandes pérdidas económicas que producen debido a la destrucción de las masas forestales, sino también por la degradación que pueden inducir en los suelos; es este efecto es particularmente importante desde el punto de vista de la conservación del suelo, la regeneración de la vegetación y la recuperación del paisaje. Los incendios incontrolados también destruyen la fauna, aumentan el riesgo de erosión, causan la movilidad de material orgánico y de nutrientes del suelo, producen cambios en la calidad del agua y en el régimen hídrico, y aumentan la contaminación del aire. Por consiguiente, los incendios incontrolados afectan a todos los componentes del medio ambiente. Además, muchas zonas son afectadas por estos incendios reiteradamente y, de esta forma, los efectos negativos se acumulan. Al hablar de los efectos de los incendios, es necesario distinguir entre los efectos inmediatos y directos del fuego (destrucción de plantas y seres vivos, por ejemplo) y los efectos a largo plazo, cuando los efectos a corto plazo son modificados por las variaciones estacionales e intervienen los agentes climáticos; estos últimos efectos pueden conducir a una mayor degradación del suelo, como cuando actúa la erosión, por ejemplo, o, por el contrario, favorecer su regeneración, como cuando interviene la revegetación. También es necesario distinguir entre el impacto sobre el área forestal quemada y los efectos originados por los materiales arrastrados desde la zona afectada por el incendio, que pueden causar desequilibrios en aquellos ecosistemas terrestres y acuáticos que reciben los materiales (ríos, lagos, embalses, estuarios), localizados lejos de la zona forestal quemada. Los efectos ecológicos y biológicos de los incendios forestales incontrolados dependen de las condiciones del área quemada (cantidad y tipo de vegetación, humedad del combustible y del suelo, tipo de suelo, pendiente y microclima) y de la intensidad del fuego, que está condicionada, a su vez, por las condiciones del área afectada.

### **2.6.1. Efecto sobre la atmósfera**

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

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

La contaminación se debe a la emisión de un gran número de sustancias en forma de aerosoles y pequeñas partículas, aunque no todos los numerosos productos de la combustión de la vegetación están identificados. Aparte del CO<sub>2</sub> y del vapor de agua, el penacho de humo de los incendios forestales contiene una gran variedad de sustancias: gases como NH<sub>3</sub>, N<sub>2</sub>O, NO y NO<sub>x</sub>, hidrocarburos sólidos, líquidos y gaseosos, aldehídos como formaldehído y acroleína, y ácido fórmico, entre otras. Todos estos compuestos son poderosos irritantes de las mucosas, alergógenos o tienen otras propiedades tóxicas. El monóxido de carbono fue detectado, pero su presencia es rara. También se observaron precursores de radicales libres, productos muy peligrosos, porque pueden afectar a moléculas esenciales dentro de las células, tales como las

proteínas y los ácidos nucleicos. El ozono no es un producto directo del fuego, pero se forma en el humo disperso; su papel aquí es como contaminante, ya que su función como escudo en las partes altas de la atmósfera, contra la radiación ultravioleta, no tiene ninguna relación con el producido en los incendios. Los hidrocarburos presentes en la atmósfera dan lugar a reacciones que impiden que se elimine el ozono, de tal forma que, en general, el aumento de hidrocarburos en la atmósfera, como consecuencia de los incendios, va acompañada de un aumento de ozono. Finalmente, los incendios forestales son fuentes naturales de elementos traza.

### **2.6.2. Efecto sobre la vegetación**

El aparente vacío biológico que queda tras un incendio es fugaz. Es frecuente observar una gran actividad biológica posterior y plantas simbiontes con algas tras las primeras lluvias. Además, hay especies vegetales que presentan adaptaciones encaminadas a resistir y propagar el fuego, algunas incluso han desarrollado mecanismos reproductivos y ciclos vitales que dan ventaja a la especie cuando el fuego está presente. Todos estos signos denotan cierta compatibilidad y facilidad de recolonización.

Está comprobado que los ecosistemas vegetales más próximos a la madurez ecológica arden con más dificultad que otras formaciones vegetales y después del incendio la regeneración de la cubierta original, con igual composición y estructura, es más rápida. El éxito en la recuperación de las diferentes especies vegetales afectadas por el incendio depende, por un lado, de la adaptación de éstas al fuego - este hecho favorece el desarrollo de estas especies llamadas pirófitas- y de las condiciones ambientales posteriores al incendio: fertilidad, iluminación, oscilaciones térmicas. En los momentos iniciales después del incendio empiezan a recuperarse las especies dotadas de mecanismos de resistencia al fuego, así como las plantas herbáceas - muy frugales- que se ven favorecidas por el momentáneo aumento de la fertilidad y por la ausencia de competidores. Posteriormente se inicia la regeneración de las especies antes existentes que van desplazando a las especies oportunistas, dominantes en el momento inicial. Sin embargo, la recurrencia de los incendios en un mismo lugar favorece que las especies mejor adaptadas al fuego se conviertan en dominantes y que la vegetación instalada sea cada vez más pirófitas. *(Merche B. Bodí, Artemi Cerdà, Jorge Mataix-Solera, Stefan H. Doerr)*

### **2.6.3. Efecto sobre la fauna**

Lógicamente, la fauna que sufre más directamente los efectos negativos de un incendio en los momentos iniciales es aquella que presenta menor movilidad, de manera que se ve afectada por el fuego, por la onda de calor o por procesos de asfixia. Por ejemplo, la fauna de invertebrados que ocupa el mantillo superficial del suelo disminuye drásticamente tras el incendio. La destrucción de los ecosistemas y las cadenas tróficas dificulta la regeneración de la fauna preexistente antes del incendio, fundamentalmente por la ausencia de estrato vegetal que aporte alimento y por las condiciones extremas que presenta el suelo. Otras especies, como aves y otros vertebrados de mayor movilidad, pueden huir hacia zonas limítrofes con las áreas incendiadas e irá recolonizando la zona a medida que se va regenerando la cubierta vegetal. Pero las poblaciones faunísticas se van afectadas por la pérdida de hábitat, de recursos tróficos, de lugares de nidificación o refugio y, en general, la drástica pérdida de calidad de los ecosistemas. Por otro lado, la repetición de incendios en una determinada zona boscosa, provoca el abandono definitivo de las especies más exclusivas, por ejemplo del bosque interior, que son sustituidas por otras más generalistas, mejor adaptadas a los espacios despejados (sin cubierta arbórea).

#### **2.6.4. Efecto sobre la erosión**

Los escenarios de sequías frecuentes, lluvias concentradas en el tiempo y aumento del peligro de incendios hacen que la conservación de los suelos adquiera una importancia capital, dado que, en tanto en cuanto la fertilidad del suelo lo permita, es predecible un desarrollo de la vegetación que en pocos años puede adquirir una gran peligrosidad, pudiendo así incrementar la incidencia de incendios. Consecuentemente, en aquellas zonas con mayor riesgo de erosión es prioritario establecer planes de forestación que, en el caso de un incendio, permitan una recuperación de la cubierta vegetal suficiente como para disminuir dicho riesgo. Habida cuenta que ciertas especies forestales afectan negativamente a algunas especies rebrotadoras, es preciso desarrollar técnicas que permitan la presencia de estas especies para que, tras un incendio, puedan producir una cubierta vegetal mínima y aumentar la resiliencia al fuego. *(Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente)*

#### **2.6.5. Efecto sobre el suelo**

La pérdida de suelo por erosión es el daño ecológico más grave ocasionado por los incendios. El suelo, además de ser el soporte y la fuente de nutrientes de la vegetación y la fauna, es un bien escaso, sobre todo en los terrenos forestales, donde los suelos por lo general tienen muy reducida su fertilidad. El suelo es un bien difícilmente recuperable, de modo que la degradación de sus características iniciales -físicas, químicas y biológicas-, y sobre todo la pérdida de sus partículas más finas y de los nutrientes por la erosión hacen que tenga un proceso de regeneración extremadamente lento. Después del incendio la cobertura normal del suelo, que a veces supone la existencia de varios estratos de vegetación (arbóreo, arbustivo...), queda drásticamente reducida, apareciendo el suelo ligeramente cubierto por cenizas y restos calcinados que desaparecen rápidamente con el viento y las primeras lluvias. El flujo de agua sobre el terreno incendiado llega a duplicar, como consecuencia de la pérdida de cubierta vegetal, la impermeabilidad de la superficie del suelo. Este flujo es laminar en las partes elevadas de las laderas y canalizado en las zonas más bajas, dando lugar a cárcavas de erosión. La erosión en los terrenos incendiados aparece fundamentalmente con las primeras lluvias y, en el clima mediterráneo, en los dos primeros meses después del incendio. No sólo existe erosión física, también aparece erosión química debido a la pérdida de nutrientes y a la disminución con el tiempo de la fertilidad.

Tras la combustión, la materia orgánica vegetal se puede mineralizar o pasar a enriquecer momentáneamente el suelo en forma de nutrientes. Sin embargo, una buena parte de los elementos nutritivos se pierden en la atmósfera, contaminándola, debido a la volatilización que sufren en el momento del incendio. Otros nutrientes se pierden disueltos en las aguas de escorrentía. El incremento de la fertilidad del suelo después del incendio llega a ser de 2 a 10 veces su valor inicial en los primeros momentos. Pero esta fertilidad es efímera ya que la mayor parte de los nutrientes incorporados tras el incendio se pierden en un año. Los nutrientes más solubles contenidos en las cenizas son lavados rápidamente del suelo, desapareciendo con las primeras lluvias. La pérdida de nutrientes es mayor cuanto más intenso sea el incendio. En los primeros momentos tras el incendio, se produce un mayor aporte de nutrientes por la muerte de raíces y por el menor consumo de la vegetación superviviente. Desgraciadamente los nutrientes liberados son arrastrados por la escorrentía ocasionada por las primeras lluvias.

## 2.7. Teoría del triángulo de fuego a la teoría del tetraedro.

Un fuego es una reacción química de combustión, es una oxidación rápida de una sustancia generando calor, luz (llamas), humo y gases. Todo fuego necesita tres elementos indispensables para iniciarse, definimos así el "triángulo del fuego":

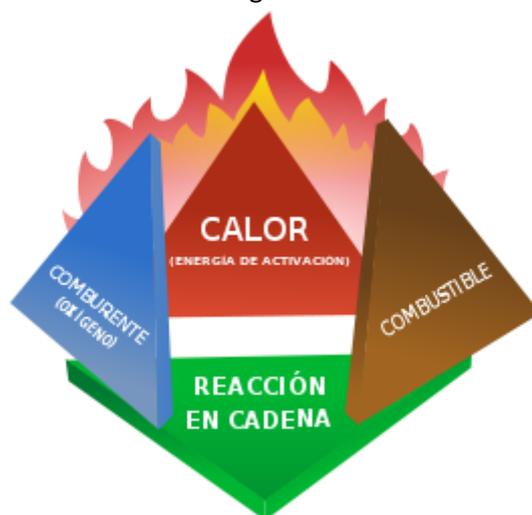


- **COMBUSTIBLE.** Es la materia que se quema (se oxida). Puede ser madera, papel, alcohol, butano... Los fuegos se pueden clasificar según el combustible que está ardiendo.

-**COMBURENTE.** Es lo que reacciona (oxida) con el combustible generando la combustión. Normalmente será el oxígeno presente en el aire, pero también puede ser un sólido como los que se usan en pirotecnia para quemar la pólvora de un cohete (nitrato amónico por ejemplo) o un líquido como el agua oxigenada. Cada combustible necesita de una cantidad determinada de oxígeno para que se produzca la combustión teniendo así un rango de inflamabilidad que es el conjunto de mezclas aire-combustible que pueden arder.

- **ENERGÍA DE ACTIVACIÓN.** Es el calor necesario para iniciar la reacción. Según el combustible, esta será más o menos grande. Un sólido como la madera necesita de cientos de grados y un gas como el butano solamente necesita la energía de una chispa.

Una vez que se ha iniciado el fuego, este puede continuar o puede apagarse, sobre todo en fuegos de sólidos como la madera. ¿Cuántas veces se nos ha apagado la chimenea o la barbacoa? Que el fuego continúe depende de que se produzca lo que se conoce como reacción en cadena que sería el cuarto eslabón del fuego. Tenemos así el "tetraedro del fuego".



Para entender en qué consiste debemos saber que lo que arde en un fuego siempre son gases. Cuando la cantidad de gases producidos es suficiente el fuego se autoalimenta ya que genera más calor que produce más gases y así sucesivamente, y no se apaga hasta que se elimine alguno de los cuatro elementos. Es un concepto químico que depende principalmente de las características del combustible: composición, estado físico, humedad, tamaño...

Los sólidos combustibles, con el calor, se descomponen emitiendo sustancias volátiles muy reactivas que son las que arden y forman la llama. Este fenómeno se conoce como pirolisis y se da en cualquier materia orgánica (no se da en metales ni en vidrios). Un tronco de madera necesitará mucha energía durante varios minutos para que se generen las sustancias volátiles combustibles suficientes para que se produzca la reacción en cadena. Por eso, para iniciar el fuego en una chimenea, usamos palos pequeños, papel, ramas... que arden fácilmente.

En los sólidos orgánicos se da el fenómeno de la combustión incandescente: es la combustión lenta sin llama (las ascuas o brasas que usamos para asar alimentos, en un cigarrillo, en una barita de incienso...) No se produce la reacción en cadena por el agotamiento de las sustancias volátiles, por la falta de calor para generarlas y/o por la falta de oxígeno.

Los líquidos combustibles lo que hacen es evaporarse para poder arder. Por eso, si están en un recipiente, arden solo en superficie y la llama estará flotando sobre él. Algunos, como el alcohol de quemar, arden lentamente y por eso se usan para cocinar o en los mecheros de laboratorio.

Los gases combustibles ya se encuentran listos para arder y siempre lo hacen en su totalidad (si hay suficiente oxígeno) y sin dejar residuos. Por eso, si tenemos un escape confinado en la cocina (butano o propano normalmente), la mezcla con el oxígeno entra dentro del rango de inflamabilidad y encuentra un punto de energía, todo el gas arde a la vez produciendo una explosión.

Si retiramos cualquier eslabón del tetraedro apagaremos el fuego.

### 3. Objetivos del Trabajo

El objetivo de este trabajo de fin de grado es realizar un mapa de riesgo de incendio de la zona de Ujué-Galipienzo, del incendio que ocurrió el 29 de agosto del 2001. La zona no es muy extensa pero se han adaptado 4 mapas de 1:25.000..

En los mapas se va a cuantificar y a localizar los peligros de incendios forestales mediante las herramientas de los Sistemas de Información Geográfica (SIG). Con este fin, será pues, necesaria la adaptación de un modelo de cálculo, concretamente el planteado por Salas y Chuvieco, que emplea la determinación del peligro de incendio en base a la determinación del peligro de ignición y el peligro de propagación, con los cuales realizaremos un análisis exhaustivo de las posibles zonas de peligro de incendio con mayor riesgo y mediante estos resultados plantearemos soluciones para prevenir futuros incendios.

Para esto será necesario la integración de variables geográficas e información de diferentes fuentes y características. En los mapas resultantes, se va a cuantificar y localizar el peligro de ignición y propagación mediante SIG.

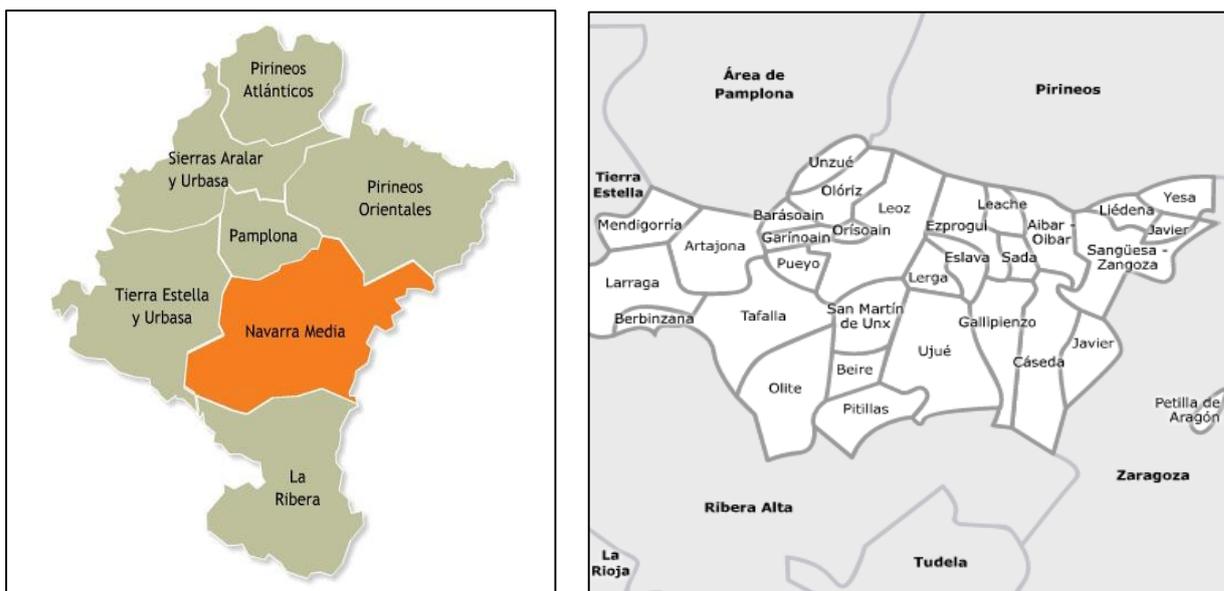
#### 3.1. Ubicación

El incendio se encuentra dentro de la Comunidad Foral de Navarra, está situada entre los municipios de Ujué y Gallipienzo localizados en la zona media oriental de la Comunidad Foral.

Navarra (en euskera *Nafarroa*), denominada oficialmente Comunidad Foral de Navarra (en euskera *Nafarroako Foru Komunitatea*), es una comunidad foral española situada en el norte de la península ibérica. Limita al norte con Francia (departamento de Pirineos Atlánticos), al este y sureste con la comunidad autónoma de Aragón (provincias de Huesca y Zaragoza), por el sur con la de La Rioja y por el oeste con la del País Vasco (provincias de Álava y Guipúzcoa). Posee un enclave (Petilla de Aragón) rodeado totalmente por la provincia aragonesa de Zaragoza.

Navarra media Oriental es la zona situada al sur de las sierras del Perdón, Aláiz, Izco y Leire, y que abarca desde el Arga, al sur, hasta la frontera con Aragón. La integran Valdizarbe, la Valdorba, la Val de Aibar, la Tierra de Sangüesa y el Somontano de Tafalla-Olite. Morfológicamente está constituida por somontanos o llanuras, generalmente pequeñas, adosadas a montañas de dirección sur-este, que están surcadas de norte a sur por el Aragón, el Cidacos y el Arga.

Es de topografía más suave, de clima mediterráneo templado, con una media de 450 a 750 de pluviosidad y unas temperaturas medias entre 12,5 y 14°C, lo que representa una tendencia hacia la continentalidad. Aunque se mantienen en ocasiones el haya, el roble y el pino silvestre, el arbolado es más escaso que en la Montaña; predomina el bosque mixto de encina y roble, y el matorral de romero, espliego, ollaga, enebro y coscoja.



Ujué es un municipio español de la Comunidad Foral de Navarra, situado en la merindad de Olite, en la Comarca de Tafalla y a 53 km de la capital de la comunidad, Pamplona. Su población en 2014 es de 198 habitantes.

Gallipienzo es un municipio español de la Comunidad Foral de Navarra, situado en la Merindad de Sangüesa, en la comarca de Sangüesa y a 55 km de la capital de la comunidad, Pamplona. Su población en 2014 fue de 115 habitantes.

### 3.1.1. Acontecimientos del incendio.

El siniestro se inició por la tarde en Gallipienzo las llamas del incendio calcinaron 430 hectáreas de monte bajo y arbolado en la sierra de San Pedro, situada entre los términos municipales de Gallipienzo y Ujué, a unos treinta kilómetros al sureste de Pamplona. (*Imagen 1*)

Cerca de un centenar de bomberos llegados desde Pamplona, Tafalla y Sangüesa, además de equipos de Policía Foral y Guardia Civil, trabajaron durante quince horas para extinguir el fuego, que se desplazó hacia la localidad de Ujué.

Para controlar las llamas, extinguidas definitivamente a mediodía, fueron necesarios, además, dos helicópteros y una avioneta, así como la colaboración de numerosos guardas forestales que vigilaron el área durante toda la noche.

Los terrenos calcinados estaban ocupados por pastizales, especies arbustivas de monte bajo y bosque de pino de Aleppo adulto, además de coscoja, un árbol similar a la encina.

El incendio se produjo justo un año después del fuego que destruyó 102 hectáreas del monte Ezkaba, el pulmón natural de Pamplona. Su origen fue un bote de humo lanzado durante unos ejercicios antidisturbios que realizaban unos soldados en el cuartel militar de Aizoáin.

Desde la dirección general del Interior de Navarra, Alfredo González, aventuró que, dada la reiteración de incendios en determinadas zonas, 'la mano del hombre puede estar presente' en su origen.



Imagen 1. Noticia del incendio en la prensa

## 3.2. Descripción física

### 3.2.1. Orografía

Ujué se encuentra en la sierra que lleva su nombre, a una altitud de 815 metros, en el límite inferior de la zona media de Navarra dominando los Pirineos y las tierras de la Ribera. Con sus 112'57 Kilómetros cuadrados, es uno de los municipios más grandes de Navarra. Limita al norte con los municipios de Lerga y Eslava, al este con Gallipienzo, al sur con Murillo el Fruto, Santacara y Pitillas y al oeste con Beire y San Martín de Unx.

La mayor parte del término municipal está ocupado por la facies miocénica de arcillas y areniscas con paleocanales, cuyos estratos buzcan ligeramente hacia el Sur o se hallan prácticamente horizontales. Los afluentes del Cidacos por un lado, y los del Aragón por otro, han atacado fuertemente a este conjunto sedimentario detrítico, reduciéndolo a una cadena de cumbres planas que suelen llamarse Sierra de Ujué (700 - 850 m.) y que hace de divisoria de aguas entre los dos mencionados ríos. Por el SE llega el municipio hasta el mismo curso del Aragón. En el Norte, en cambio, más cercano al eje del anticlinal de Tafalla, los buzamientos son fuertes y las areniscas y conglomerados oligocénico-aquitanienses (conglomerados de Gallipienzo) arman una cresta enérgica de dirección ESE.ONO que culmina en Chucho Alto a 932 m.

La deforestación de los encinares y robledales originarios fue muy intensa, hasta el punto de haber quedado reducidos a pequeños rodales degradados; la repoblación forestal se hizo principalmente con pino de Aleppo.

El extenso término municipal de Ujué está compuesto por muchos parajes, entre los que cabe destacar Busa, Aliaga, Sulue, Aldamara, los Berros, Redondiaga o Santakaramuru. Algunos montes destacados son el alto de Chucho y Bigas.

### 3.2.2. Climatología

El clima de Ujué se puede definir como clima mediterráneo continentalizado y se caracteriza por tener inviernos fríos, sobre todo si sopla el cierzo y los veranos moderados y relativamente secos. El índice de temperatura media anual varía en función de la cota de altitud y están entre los 12,5 °C y 13,5 °C. Las precipitaciones anuales oscilan entre 450 y 800 mm, registrándose entre 70 y 90 días lluviosos al año. El índice de evapotranspiración potencial está entre 700 y 750

### 3.2.3. Flora y Fauna

Estos bosques componen el tapiz vegetal típico de una amplia zona de Navarra, la Zona Media con clima submediterráneo. Las carrascas son árboles de hojas duras y persistentes. Forman un

bosque muy denso y cerrado de copas. Generalmente presentan un sotobosque poblado de arbustos que impiden transitarlo, integrado por *Spiraea hispánica* y boj. Es precisamente esta impenetrabilidad lo que les ha hecho el lugar ideal para el refugio del jabalí, y que ha permitido la ascensión de esta especie. Estos carrascales cobijan también al tejón y en ellos se encuentran los mejores lugares de nidificación del águila calzada y del águila culebrera y del milano negro y real, y son características las currucas. Entre los reptiles ocupan este reducto *Malpolon monspessulanus*, *Elaphe scalaris*, *Vipera aspis* y *Coronella girondica*, que también se encuentran más al sur. Es en esta formación vegetal donde hace su aparición el lagarto ocelado (Imagen 2), sustituyendo al lagarto verde.



Imagen 2. Lagarto Ocelado

Los hayedos termófilos meridionales de Lóquiz, Izco, Alaiz, llevan una flora rica en especies nemorales que comparten con los carrascales y quejigales colindantes. El haya aquí convive frecuentemente con el boj (imagen 3), en ellas se puede encontrar las mariposas *Hyparchia fagi*, *Clossiana euphrosyne* y *Pyrgus serratulae*. El jabalí es habitante normal como en toda Navarra. El hayedo es el bosque más notable por la extensión que cubre. Navarra es una de las provincias con mayor superficie de hayedo.

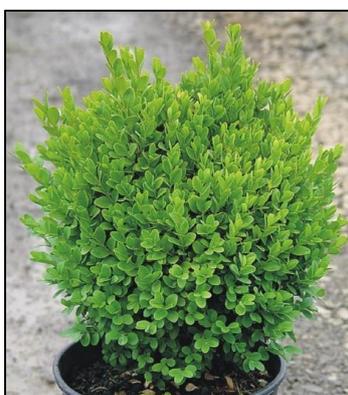


Imagen 3. Boj

Los carrascales abiertos por talas o incendios llevan numerosas especies vegetales propias del matorral que sustituye al bosque por degradación y su orla espinosa. Además del pacharán, diversas zarzamosas y rosas, van la coscoja, la ollaga, algunos brezos y jaras. En las foces y valles abrigados la carrasca convive con el durillo, el madroño y la cornicabra entre otras.

Los quejigos tienen hojas que permanecen en el árbol una vez secas hasta pasado el invierno. Ocupan laderas con suelos más profundos y frescos que la carrasca. Por lo general son bosques abiertos con un denso matorral presidido por la *Spiraea hispánica* acompañada de brezos, aliaga y garbancera. En la ladera norte que ocupa, a veces muy húmedo, vuelve a aparecer la fauna propia de robledales húmedos.

El pino carrasco (*imagen 4*) (especie típicamente mediterránea) aparece en el SE, en las solanas de Ujué y de Peña, ocupando el espacio de antiguos encinares.



Imagen 4. Pino Carrasco

Quejigo (*imagen 5*): *Quercus faginea*, es una especie de árbol marcescente de tamaño medio de hasta 20 metros de altura, típico de las zonas de clima mediterráneo del Norte de África y la Península Ibérica. Especie autóctona del bosque mediterráneo. Florece entre abril y mayo, casi siempre antes que la encina; las bellotas maduran y se diseminan hacia septiembre u octubre.



Imagen 5. Quejigo

### 3.3. Áreas de interés

Montes de Valdorba: Es un lugar privilegiado de la zona media navarra incluido en la Ley Foral de Espacios Naturales como paisaje protegido, en reconocimiento a su riqueza como zona de transición entre los bosques pirenaicos y las campiñas secas del sur con notable influencia mediterránea. Esta diversidad de hábitats ha propiciado una notable riqueza faunística con poblaciones de aves rapaces que inclinaron al Gobierno navarro a incluirlos desde el primer momento en el listado de lugares de interés comunitario y posteriormente elevarlo a la máxima categoría de protección, como Zona de Especial Conservación el año 2006, incluyendo dos reservas naturales (monte de Olleta y monte del Conde).

Caparreta, reserva natural: Declarada por la Ley Foral 6/1987, de 19 de abril, de normas urbanísticas regionales para protección y uso del territorio, está situada en el término municipal

de Gallipienzo, al sur del viejo núcleo de población. Tiene una superficie total aproximada de 35 Ha, y está dividida en dos sectores separados; el terreno es comunal de Gallipienzo. Forma parte de las estribaciones de la sierra de San Pedro, muy cerca de la margen izquierda del río Aragón. Los dos sectores están cubiertos de matorral mediterráneo, dominado por carrascas (*Quercus rotundifolia*), coscojas (*Quercus coccifera*), bojés (*Buxus sempervirens*), enebros (*Juniperus oxycedrus*) y sabinas (*Juniperus phoenicea*) y pequeñas superficies de repoblaciones forestales de pino carrasco (*Pinus halepensis*); este tipo de repoblaciones ocupan buena parte de los terrenos circundantes. El principal objeto de la reserva es la conservación de las comunidades rupícolas que albergan los afloramientos rocosos de areniscas y conglomerados cuaternarios que forman acantilados. Entre las especies que forman parte de estas comunidades destacan los buitres (*Gyps fulvus*).

Lagunas de Pitillas: Extenso humedal declarado Reserva Natural en el que se ha instalado un observatorio de aves, material gráfico y audiovisual. Paseo por la laguna. La Laguna de Pitillas se declaró en el año 90 Zona de Especial protección para las Aves (ZEPA) de acuerdo con la directiva europea de aves. En el año 96 fue propuesta como Sitio de Ramsar e incluida en el listado definitivo en el otoño del 97. En enero de ese año también quedó incorporada en el Inventario de Zonas Húmedas de Navarra (*imagen 6*).



Imagen 6. Laguna de Pitillas

### 3.4. Redes de comunicación

Para llegar a la zona del incendio está complicado ya que no existe una vía de comunicación importante que nos llegue hasta la zona. Es una zona de caminos al lado del río Arga. Existe una carretera convencional si vienes del norte que nos puede acercar lo máximo posible que es la NA-5311 si vienes de Tudela existe una que es la NA-534 o Judas Benta-Oibar-Zarrakastelu (Carcastillo) cuya longitud es de 39,50 km.

**NA-5311**: O carretera de Uxue-Murillo es una carretera de Navarra. La NA-5311 empieza en el 5,42 km de las carreteras de Navarra, y llega hasta el centro del pueblo de Murillo de Fruto. Toda ella mide 20,65 km.

### 3.5. Hojas

Las coordenadas de las esquinas de las hojas de los mapas a escala 1:25.000, son las siguientes, expresadas en la proyección UTM ETRS89, Zona 30, el sistema de referencia de todo el trabajo.

| Esquina Superior Izquierda | Esquina Inferior Derecha |
|----------------------------|--------------------------|
| X: 621.538,606 m           | X: 649.323,356m          |
| Y: 4.706.884,783 m         | Y: 4.687.846,372m        |

Cartografiado del peligro de incendio forestal para la comarca de Tafalla (Navarra).

La disposición de los mapas a escalas 1:25.000 obtenido desde el centro de descargas del CNIG es la siguiente:

|        |        |
|--------|--------|
| 0207-1 | 0207-3 |
| 0207-2 | 0207-4 |

Finalmente adjuntamos la imagen (*imagen 7*) donde podemos observar la zona del incendio y los municipios a su alrededor, desde el Google Earth, los cuales se encuentran Ujué y Gallipienzo. También podemos observar el río Arga que pasa por las inmediaciones de la zona afectada y que fue en una zona de monte y poca accesibilidad



Imagen 7. Vista general de la zona por Google Earth

## 4. Datos de Partida

### 4.1. Imágenes Landsat

Landsat 7 es el séptimo de un grupo de satélites lanzados por Estados Unidos. Fue lanzado el 15 de abril de 1999. El objetivo principal del Landsat 7 es actualizar la base de datos de imágenes de todo el planeta Tierra sin nubes. Aunque el programa Landsat es controlado por la NASA, las imágenes recibidas por el Landsat 7 son procesadas por el Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS por sus siglas en inglés).

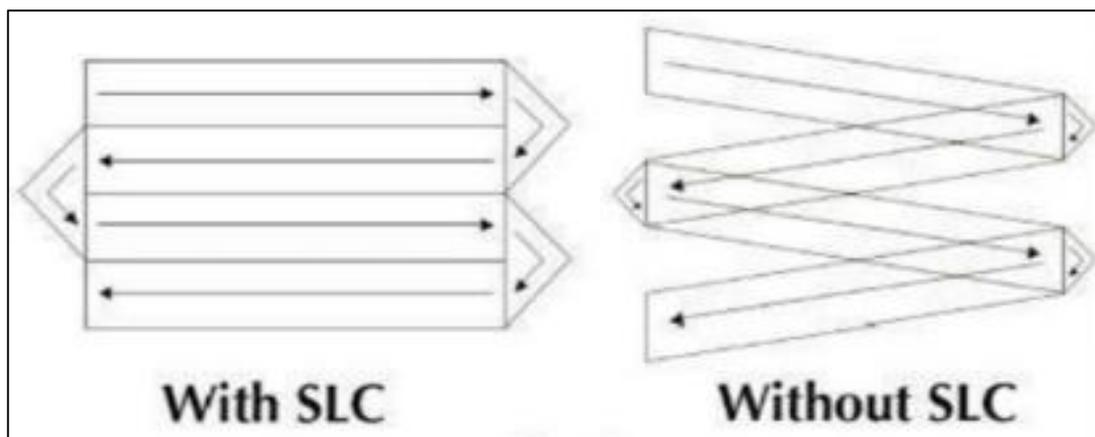
Landsat 7 fue diseñado para que su vida útil fuese de 5 años, y tiene la capacidad de recolectar y transmitir hasta 532 imágenes por día. Se encuentra en una órbita heliosincrónica, lo cual significa que siempre pasa a la misma hora por un determinado lugar. Tiene visión de toda la superficie terrestre en un tiempo de 15 días, realizando 232 órbitas. El peso del satélite es de 1973 kilogramos, mide 4.04 metros de largo, y 2.74 metros en diámetro. A diferencia de sus antecesores, Landsat 7 posee una memoria sólida de 378 Gigabytes capaces de almacenar alrededor de 100 imágenes. El instrumento esencial a bordo del satélite es el Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+).

Las imágenes obtenidas por el satélite, a partir del año 2002, tienen una resolución espacial de 15 metros por píxel.

- Una Banda pancromática con 15 m de resolución espacial (banda 8)
- Bandas visibles en el espectro del azul, verde, rojo, infrarrojo cercano e infrarrojo medio con 30 m de resolución espacial (bandas 1-5, 7)
- Un Canal infrarrojo térmico con una resolución espacial de 60 m
- Full apertura, 5 % de calibración radiométrica absoluta

| MODO ESPECTRAL | ESPACIAL (metros) | ESPECTRAL (micras)           |             | RADIOMÉTRICA | TEMPORAL |
|----------------|-------------------|------------------------------|-------------|--------------|----------|
| Pancromática   | 15                | Banda 8. Pancromática        | 0.52 - 0.90 | 8 BITS       | 16 Días  |
| Multiespectral | 30                | Banda 1. Azul                | 0.45 - 0.52 |              |          |
|                |                   | Banda 2. Verde               | 0.53 - 0.61 |              |          |
|                |                   | Banda 3. Roja                | 0.63 - 0.69 |              |          |
|                |                   | Banda 4. Infrarrojo cercano1 | 0.78 - 0.90 |              |          |
|                |                   | Banda 5. Infrarrojo cercano2 | 1.55 - 1.75 |              |          |
|                |                   | Banda 6. Infrarrojo medio    | 2.09 - 2.35 |              |          |

El 31 de mayo del 2003 el correcto de Escaneo Lineal (SLC) dejó de funcionar en el ETM+. El SLC consiste en un par de pequeños espejos que giran alrededor de un eje en tándem con el movimiento de la ETM principal + espejo de exploración. El propósito de la SLC es para compensar el movimiento hacia adelante de la nave espacial de manera que las exploraciones resultantes están alineados paralelos entre sí. Sin los efectos de la SLC, en las imágenes resultantes se verían que algunas áreas están incluidas dos veces en la imagen y en otras que no están incluidas, debido al "zig-zag". El efecto neto es que aproximadamente el 22 % de los datos en una escena Landsat 7 faltan cuando se adquieren sin SLC funcional.



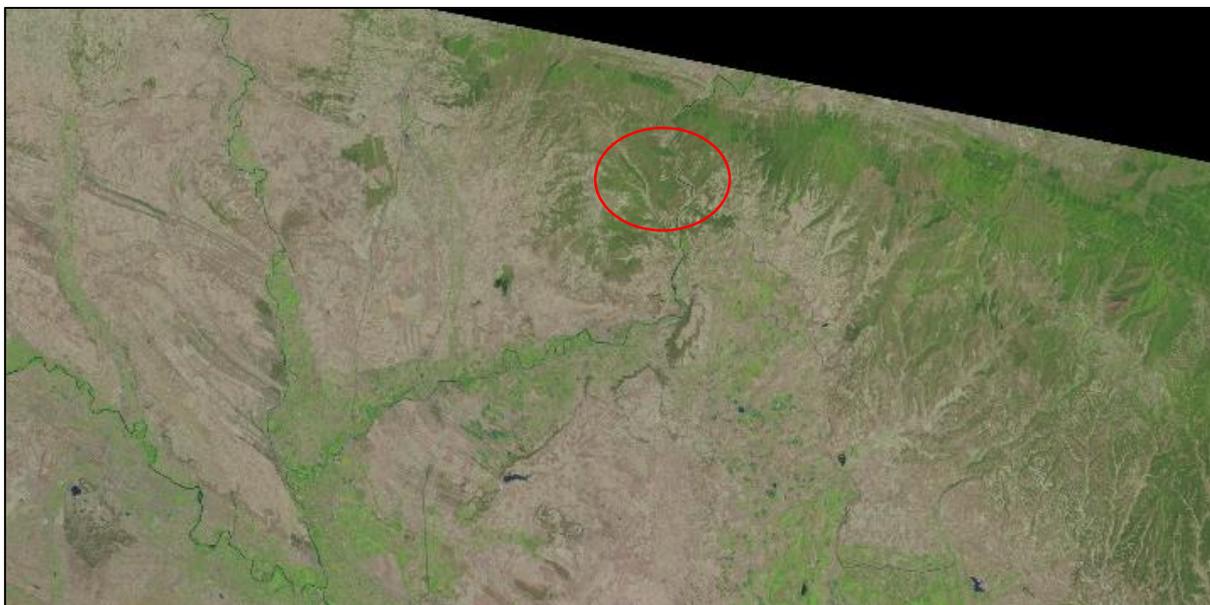
Las imágenes del satélite Landsat 7 ETM+ +SLC-On se han descargado de la página <http://earthexplorer.usgs.gov/> del gobierno del estado de Estados Unidos.

Lo primero que hay que identificar es la zona quemada en ambas imágenes. En la segunda imagen se puede ver que en la zona se ve una “mancha” de color grisáceo la cual es la zona calcinada.

La primera imagen nos permitirá el cálculo del NDVI, a priori, en condiciones parecidas que se encontraban antes de los incendios.

Imagen Landsat 7 ETM+ + SLC-On

01/07/01



Cartografiado del peligro de incendio forestal para la comarca de Tafalla (Navarra).

Landsat Scene Identifier LE72000312001182EDC00

WRS Path: 200

WRS Row: 031

Start Time: 2001:182:10:38:07.7892246

Stop Time: 2001:182:10:38:34.8170371

UTM Zone: 30

Imagen Landsat 7 ETM+ + SLC-On

19/09/01



Landsat Scene Identifier LE72000312001262EDC00

UTM Zone: 30

WRS Path: 200

WRS Row: 031

Start Time: 2001:262:10:37:13.1556134

Stop Time: 2001:262:10:37:40.1938009

## **4.2. Cartografía utilizada**

La Comunidad Foral de Navarra tiene su propio sistema de cartografía ya que la gestionan ellos mismos y esa organización se llama SITNA (INFO DE SITNA e IDENA)

Pero contactando con ellos, toda esa información que realizan primero la gestionan ellos y luego la ceden al centro nacional de información geográfica. SITNA te garantiza que la información cartográfica esta lo más actualizada posible pero al ser el incendio en el 2001 no es muy necesario utilizar esa información cartográfica, por lo que se utilizó la BTN25 del CNIG.

La BTN25 son archivos vectoriales en formato shapefile (SHP) correspondientes a la Base Topográfica Nacional a escala 1:25.000, en su versión inicial (BTN25v0) y con cobertura completa para España. Contiene 88 capas de información geográfica que abarcan datos topográficos y temáticos, concebidos para su explotación mediante Sistemas de Información Geográfica (SIG) y capaces de servir de soporte tanto a consultas geográficas, como a la producción de productos cartográficos. Se está trabajando en la realización de BTN25 versión1, permitirá disponer de una información geográfica continua, con redes de transporte e hidrografía preparadas para permitir un análisis espacial más eficiente. Se pone a disposición del usuario esta versión inicial BTN25v0 porque representa una visión conjunta y homogénea de la totalidad del territorio con la resolución que este producto asegura, aunque no se garantice la continuidad de los elementos en su totalidad. La unidad de descarga es un archivo ZIP por cada hoja de BTN25. En la información auxiliar se ofrece un fichero KML en el que se detalla para cada hoja, el año de vuelo PNOA, el año de formación y las fechas de otras actuaciones que hayan podido realizarse en esa unidad de producción. Sistema Geodésico de Referencia ETRS89 en la Península, Islas Baleares, Ceuta y Melilla, y REGCAN95 en las Islas Canarias (ambos sistemas compatibles con WGS84) y proyección UTM en el huso correspondiente.

La cartografía está tomada del Instituto Geográfico Nacional (IGN), que a través del centro de descargas (<http://centrodedescargas.cnig.es/CentroDescargas/index.jsp>) permite su utilización.

### **4.2.1. Núcleos Urbanos**

Los núcleos urbanos se obtienen mediante los shapefile BTN25\_ETRS\_BCN0501S\_ENT\_POB de la hoja 207. Se trata de una capa de polígonos donde aparece el contorno de los núcleos urbanos.

Al ser una zona con poca afluencia de población, no he desechado ningún polígono por su área ya que sino desaparecerían casi todas.

De la tabla de atributos solo requeriremos de la información del nombre del municipio que se tenga información y el área del polígono.

### **4.2.2. Vías de comunicación**

Vamos a diferenciar 3 tipos de vías de comunicación en la zona de estudio donde las capas de tipo lineal. La primera es para las autopistas y autovías donde pueden circular los vehículos motorizados más pesados y grandes donde la vía es más amplia. El segundo tipo será para las carreteras convencionales donde pueden circular los mismos vehículos pero las vías son menos grandes y el tercer tipo es para los caminos sendas o caminos donde pueden circular vehículos pequeños motorizados y personas.

Para las autopistas y autovías en nuestro caso solo existe una autovía y ninguna autopista por lo que será bastante sencilla. La he obtenido de la capa de carreteras convencionales BTN25\_ETRS\_BCN0604L\_CARR\_CONV de la hoja 207 donde me di cuenta que dentro de ésta no solo había carreteras convencionales sino también estaba la autovía A-127. Extraigo la autovía del shapefile de carreteras convencionales y creo uno nuevo con la autovía y así separo las carreteras convencionales de la autovía y ya tengo los dos primeros tipos de vías de comunicación.

Para los caminos sendas y pistas, se obtienen los caminos del shapefile BTN25\_ETRS\_BCN0623L\_CAMINO\_I de la hoja 207

Las sendas de BTN25\_ETRS\_BCN0626L\_SENDA\_li de la hoja 207

Y las pistas de BTN25\_ETRS\_BCN0610L\_PISTA\_line de la hoja 207

De la tabla de atributos solo requeriremos de la información del nombre de la vía de comunicación, el uso de la misma, el tipo (solo para diferenciar autopistas y autovías) y la longitud.

#### **4.2.3. Líneas eléctricas**

La línea eléctrica de la zona se obtiene a partir del shape BTN25\_ETRS\_BCN0710L\_LIN\_ELEC de la hoja 207 del BTN25. Capa lineal

De la tabla de atributos solo requeriremos de la información del tipo de tensión que soporta la línea y la longitud

#### **4.2.4. Hidrología**

Se obtendrá de la capa BTN25\_ETRS\_BCN0301L\_RIO de la hoja 207 de la BTN25 donde aparecen todos los recursos hidrológicos de la zona. Capa lineal.

Se considerarán solo aquellos ríos que lleven caudal permanentemente, en el resto de los casos se considerará la posibilidad de incorporarlos como cortafuegos si cumplen los requisitos.

De la tabla de atributos solo requeriremos de la información del nombre del río, estado (si tiene o no caudal) y la longitud

#### **4.2.5. Embalses**

Para obtener los embalses creamos una capa de puntos en Google Earth por lo que tenemos un archivo .kml y lo importamos al Arcgis.

Se trata de una capa de puntos donde aparecen las zonas de agua donde cargan el agua los medios aéreos. También se han tenido en cuentas las piscinas como posibles puntos de carga de agua pero estos puntos se valoran aparte y con parámetros diferentes

#### **4.2.6. Vegetación**

Todos los datos obtenidos hasta ahora vienen de la base de datos del IGN, la ocupación del suelo proviene del programa CORINE LAND COVER

Mapa de ocupación del suelo en España, correspondiente al proyecto europeo Corine Land Cover. Incluye las versiones de 1990, 2000 y 2006, así como los mapas de cambios de ocupación del suelo entre los años 1990-2000 y 2000-2006. Archivos en formato shapefile comprimidos en formato ZIP, sistema geodésico ETRS89 (en Canarias, WGS84/REGCAN95) y proyección UTM huso 30 (en Canarias, huso 28).

#### **4.2.7. Parques de bomberos**

La información de los parques de bomberos viene de la Infraestructura de Datos Espaciales de Navarra (IDENA). La capa es de puntos y en cuya tabla de atributos aparecen los nombres de cada parque de bomberos de Navarra.

La información se suministra en el sistema de referencia EPSG: 25830 (UTM 30N, ETRS89), mayoritariamente en formato SHP.

En este caso se trabaja con la extensión entera de la Comunidad Foral y luego como ya veremos más adelante una vez reclasificada se recorta con el marco de hoja 207 del BTN25

De la tabla de atributos solo requeriremos de la información del nombre de los parques de bomberos.

#### **4.2.8. Modelo Digital de Elevaciones**

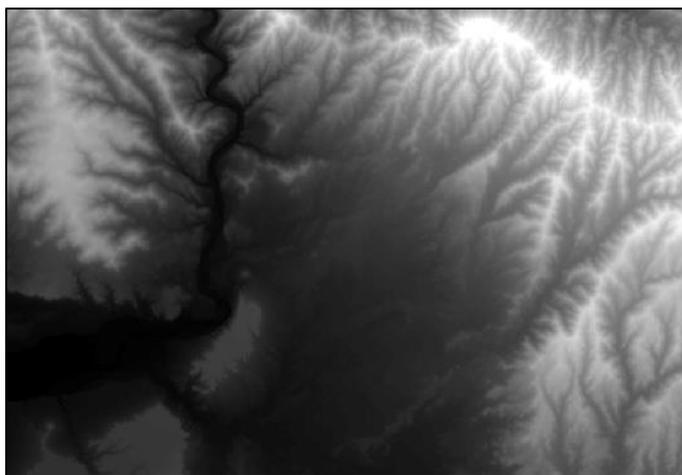
Se denomina MDT al conjunto de capas (generalmente raster) que representan distintas características de la superficie terrestre derivadas de una capa de elevaciones a la que se denomina Modelo Digital de Elevaciones (MDE).

Modelo digital del terreno con paso de malla de 25 m, con la misma distribución de hojas que el MTN50. Con formato de archivo ASCII matriz ESRI (asc). MDT de la hoja 207.

Su sistema geodésico de referencia ETRS89 (en Canarias REGCAN95, compatible con ETRS89) y proyección UTM en el huso correspondiente a cada hoja y también en el huso 30 extendido (para hojas situadas en los husos 29 y 31). En Canarias el huso UTM es el 28.

El MDT25 se ha obtenido por interpolación de modelos digitales del terreno de 5 m de paso de malla procedentes del Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (PNOA).

Gracias a este modelo podremos determinar los diferentes mapas temáticos con los que vamos a trabajar, como pueden ser el mapa de pendientes, el mapa de altitudes, el mapa de orientaciones y el mapa de iluminación. Posteriormente se remuestreará para que tenga un tamaño de pixel de 30 m.



MDT de la hoja 207

### 4.3. Datos Climatológicos

Todos los datos pedidos a la Agencia Estatal de Meteorología, donde esta agencia presta datos ya que tiene una base de datos donde los almacena. Estos datos vienen con una extensión .csv, que gracias con la ayuda de Microsoft Office Excel, se puede manipular para su posterior análisis.

Lo que necesitamos para este trabajo son datos de temperatura, precipitaciones, humedad y viento. Para encontrar estaciones meteorológicas cerca de la zona ha sido un poco complicado ya que igual sí que existen estaciones dentro de la zona pero esas estaciones no eran funcionales en el periodo de tiempo cuando sucedió el incendio. Por lo que escogimos las estaciones más cercanas a la zona del incendio y sobre todo funcionales en el 2001 y así poder interpolar y obtener resultados.

| INDICATIVO | AÑO  | MES | DIA | NOMBRE               | ALTITUD | NOM_PROV | LONGITUD | LATITUD |
|------------|------|-----|-----|----------------------|---------|----------|----------|---------|
| 9244X      | 2001 | 8   | 1   | SOS DEL REY CATÓLICO | 626     | ZARAGOZA | 112492   | 422927  |
| 9263D      | 2001 | 8   | 1   | PAMPLONA/NOAIN       | 459     | NAVARRA  | 139002   | 424637  |
| 9294E      | 2001 | 8   | 1   | BARDENAS REALES      | 295     | NAVARRA  | 128312   | 421155  |

## 5. Metodología de Trabajo

### 5.1. Modelo propuesto

Basándonos en el libro “Nuevas Tecnologías para la estimación del riesgo de incendios forestales” de Emilio Chuvieco Salinero y María del Pilar Martín Isabel, crearemos nuestro mapa de peligros de incendios forestal. En el libro se encuentran unos patrones que pueden ayudarnos a obtener un mapa de peligro de incendio forestal acertado, trabajando con diferentes variables.

Considerando los incendios forestales en el contexto de los riesgos naturales y tecnológicos, el análisis integral del riesgo de incendios ha de tratar, al mismo tiempo, aquellos factores que explican la aparición de un incendio determinado (así como su desarrollo), por un lado, y el impacto que éste puede causar sobre las personas, los bienes materiales y los recursos naturales, por otro. En el ámbito de la ocurrencia, el riesgo también debe hacer referencia a los componentes básicos que la explican: la ignición y la propagación de incendios.

Los trabajos realizados de esta línea han desarrollado una terminología propia que difiere, en parte, de la utilizada tradicionalmente en la bibliografía sobre riesgos naturales y tecnológicos. Éste es el caso de la distinción que entre “riesgo” y “peligro” de incendio puede establecerse en castellano, reflejo de la que, en lengua inglés –dominante en este campo- se establece entre *risk*, *danger* y *hazard*.

Según la terminología de la FAO (1986), ampliamente aceptada por la comunidad científica dedicada a temas forestales, peligro de incendios (*fire danger*) se define como “el resultado, a veces expresado mediante un índice, de los factores constantes y variables que afectan a la ignición, a la propagación y a la dificultad de controlar los fuegos y los daños que éstos generan”. El término inglés *fire hazard*, de traducción casi sinónima, se reserva, según la misma fuente, para la “medida de la parte del peligro [*fire danger*] explicada por la presencia de combustibles disponibles para ser quemados”. Finalmente, riesgo de incendio (*fire risk*) expresa la probabilidad de que un fuego se inicie bajo la presencia y la actividad de agente causante, un agente detonante y la cantidad de hojarasca potencial a la cual un área dada estará expuesta en un periodo determinado. El concepto de peligro de incendio –*fire danger*- tiene, en este contexto, un significado amplio puesto que implica la integración de todos aquellos factores – de naturaleza muy diversa- susceptibles de generar un incendio.

Desde posiciones conceptualmente muy próximas, Lynham y Martell (1985) resumen en tres las dimensiones necesarias para comprender la ocurrencia de incendios forestales: *risk*, *hazard* y medidas de prevención. Entienden así por “*forest fire severity*” la medida del nivel de actividad del fuego en un área determinada, explicada como función de dos factores principales: el número de fuentes potenciales de ignición (*risk*); y las fuentes de peligro, entendidas en términos de combustible disponible para arder (*hazard*).

En la bibliografía sobre riesgos naturales todos estos términos son tratados con un significado diferente. Los dos primeros –*danger* y *hazard*- son utilizados casi indistintamente, mientras que el tercero –*risk*- se emplea cuando se hace referencia tanto a la probabilidad de que un evento no deseado ocurra como a los daños potenciales que éste puede causar (Allen, 1992). Es decir, el riesgo –*risk*- se define como producto de un “peligro relativo previsto” y la “exposición a tal peligro”. En definitiva, su valoración atiende a dos vertientes distintas: la probabilidad de que suceda (terremoto, tornado, incendio, erupción volcánica, etc.) y la vulnerabilidad de las áreas potencialmente afectadas. La probabilidad de ocurrencia se expresa como combinación de los factores que pueden causar el evento (unas condiciones atmosféricas específicas, un tipo de combustible, una situación socioeconómica determinada...), mientras que la vulnerabilidad

refiere al grado de preparación de las zonas afectadas ante el desastre (fragilidad del ecosistema afectado, valor intrínseco de los recursos, nivel de severidad...etc).

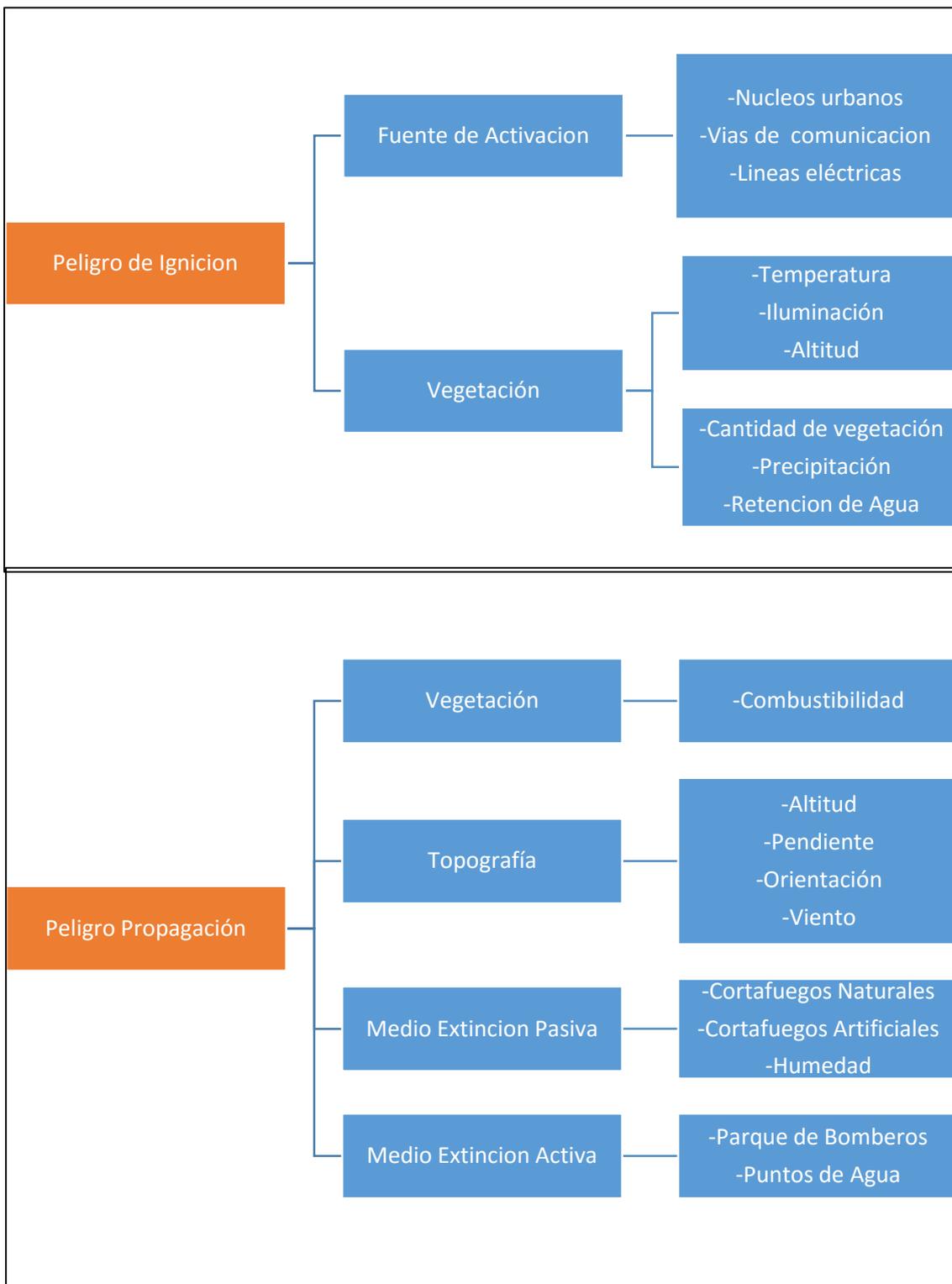
En este contexto, el análisis del riesgo de incendio forestal –fire risk- debe contemplar tanto el grado de peligro –danger- o probabilidad de que ocurra el fuego y se desarrolle (probabilidad de ignición y de propagación), como la vulnerabilidad de las áreas afectadas, relación con los daños que puedan ocasionarse.

Para este proyecto vamos a utilizar el concepto de DANGER, peligro de incendio, ya que es el más completo que podemos utilizar, ya que abarca todos los ámbitos de un incendio.

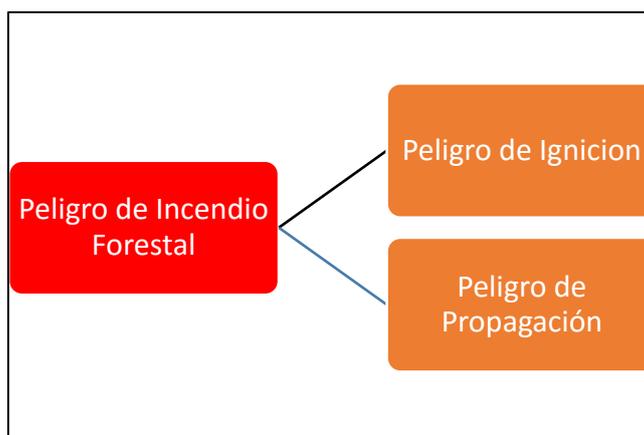
El análisis del primero de ellos – la Ignición – se centra en el estudio de las condiciones de aparición del fuego. Teóricamente, un fuego puede iniciarse en cualquier punto del espacio que esté cubierto por material combustible, aunque solo tendrá lugar si un agente causante lo provoca, y sea de forma natural (por rayos o erupciones volcánicas), o artificial (por el ser humano, directa o indirectamente). Por lo tanto el riesgo de ignición hace referencia exclusivamente a la probabilidad de ocurrencia del incendio, estimada a partir del análisis de los factores causantes y de la disponibilidad e inflamabilidad de los combustibles. En este sentido, en el análisis de ignición se contempla la presencia de los agentes causantes, pero también las características del combustible (tanto vivo como muerto) y, en particular, su estado de humedad.

El análisis de riesgo de propagación se centra en el estudio del comportamiento del fuego, es decir, en la estimación de su recorrido y de sus características (velocidad, intensidad, áreas afectadas...). Esta componente del riesgo de incendios ha sido la más estudiada, siendo muy numerosos los modelos de simulación que se han propuesto a efecto. La velocidad del fuego está relacionada con el concepto de probabilidad de propagación y se estima mediante el análisis de las características del combustible (cantidad, estructura...), las condiciones meteorológicas (patrones de viento, temperatura, humedad...) y la topografía. Aunque difíciles de predecir también intervienen los recursos utilizados en la supresión del fuego, cuanto modifican la propagación natural del mismo.

En el siguiente esquema aparece el patrón que vamos a seguir:



Y finalmente,



Una aproximación cuantitativa para el análisis de riesgo consiste en la definición de un índice basado en la ponderación selectiva de las variables de riesgo. Las ponderaciones se establecen, tal y como ocurre en el caso de los modelos cualitativos, a partir del conocimiento de los expertos, pero, en este caso, sí se define un gradiente de riesgo a partir de la aplicación de una fórmula-índice. El nivel de riesgo se corresponde con el valor numérico del índice, que también puede clasificarse en diferentes categorías de riesgo.

Por lo tanto, siguiendo el tipo de índices propuesto por Salas y Chuvieco (1994a):

Dice que el Riesgo de Ignición (IR):

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

Donde H representa el factor humano (la resultante de la proporción de las variables de núcleos urbanos, vías de comunicación y de líneas eléctricas), V la vegetación (la resultante de los valores de temperatura, precipitación retención de agua, altitud y NDVI), I el factor de iluminación y E la altitud.

Para el Riesgo de propagación (BR):

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

Donde V indica el tipo de modelo de combustible, S la pendiente, A la orientación, E la altitud y FB la existencia de cortafuegos (entendiendo por cortafuegos al sumatorio de las variables de los cortafuegos en sí, las vías de comunicación y los ríos).

La elaboración de estos índices requiere el establecimiento de niveles cuantitativos de riesgo para cada una de las variables. Por ejemplo, el tipo de modelo de combustible deberá reclasificarse en función del riesgo que presenta –tanto en la ignición como en la propagación.; para ello, podrán utilizarse los valores de propagación derivados del modelo BEHAVE o de otras simulaciones por ordenador. Estos índices de tipo cuantitativo resultan más objetivos que los modelos cualitativos, aunque tampoco deben interpretarse en términos absolutos. Es decir, definen niveles de riesgo alto o bajos, pero no pueden utilizarse para definir probabilidades de ignición o propagación.

Existen alternativas para atenuar el grado de subjetividad en la ponderación de las variables. (Chuvieco, e. y Martín m.p.2004)

## 5.2. Procedimiento

La información que se va a utilizar en este trabajo de fin de grado ha sido lo más difícil de cuadrar y encontrar ya que alguna información no viene con el formato deseado. También se trabajará con volúmenes importantes de información y por ellos tenemos que comprimir esa información a lo que nos interesa.

El primer paso es encontrar toda esa información y de ahí extraer lo que nos interesa para conseguir finalmente el mapa de riesgo de incendio forestal.

Para la realización y el análisis de la información se ha trabajado con diferente software para almacenarla y procesarla como: Microsoft Office Excel 2010, ArcGIS 10.1 y Google Earth para obtener los embalses de la zona.

El siguiente paso ha sido delimitar el área de trabajo donde surgió el fuego (*imagen 8*). Para ello se ha escogido una hoja de Instituto Geográfico Nacional (IGN) que se compone de 4 mapas a escala 1:25.000 los cuales los hemos unido para abarcar la zona del incendio. A pesar de que la zona del incendio es pequeña se ha considerado toda la hoja 207 para que abarcara más información cartográfica y así realizar un estudio más exhaustivo.

Es decir, creamos un contorno propio de la zona de trabajo, para poder recortar más tarde los rásters finales y así trabajar todo con respecto ese marco.

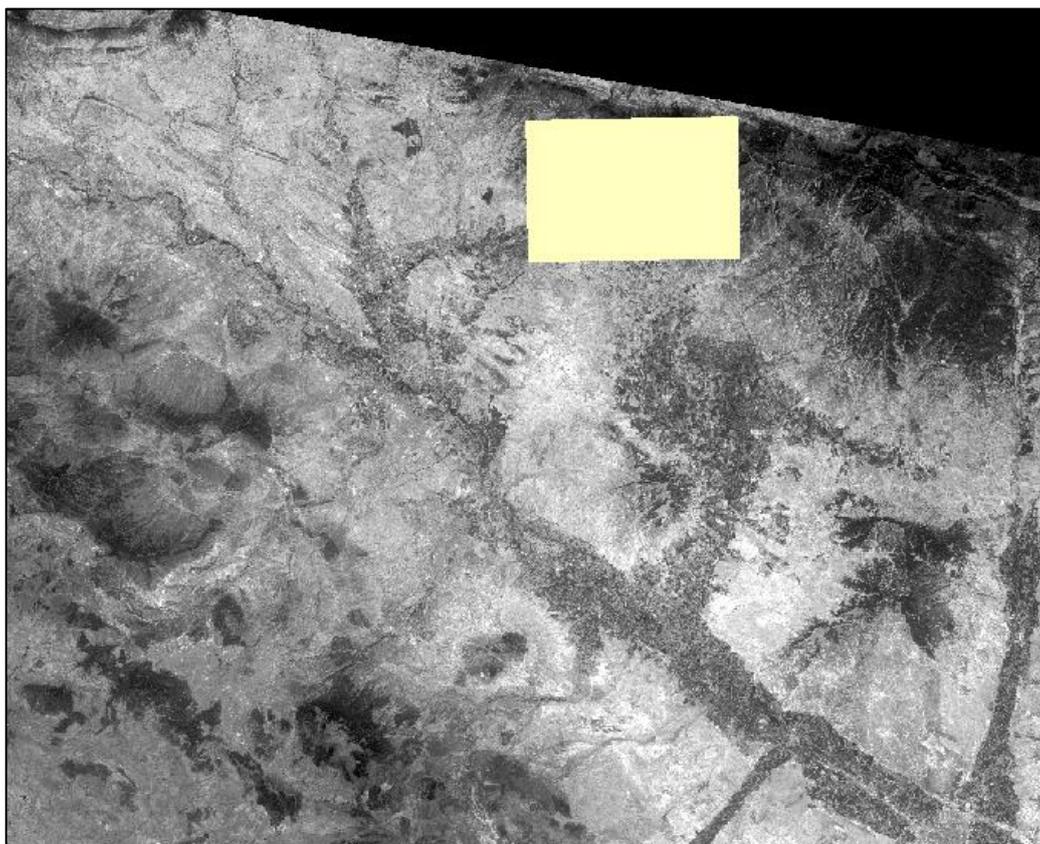


Imagen 8. Área de trabajo delimitado

Como ya he dicho anteriormente, de toda la información que se obtiene no vamos a necesitar toda sino que tenemos que elegir que necesitamos por ellos creamos una geodatabase donde vamos a depositar toda la información necesaria de cada variable.

Antes de comenzar tenemos que indicar el sistema de referencia por el cual vamos a trabajar durante todo el trabajo fin de grado que será ETRS\_1989\_UTM\_Zone\_30. Para todos los datos de partida que tienen diferente sistema de referencia tendremos que corregirla e indicarla a través del comando "Data Management Tools / Projections and Transformations / Define Projection" a ETRS 1989 UTM Zona 30.

En cuanto al MDE necesitamos remuestrear para que tenga un tamaño de píxel de 30x30, ya que en el CNIG nos ofrece el MDE con tamaño de píxel de 25x25. Utilizaremos la herramienta "Analysis Tools / Raster / Raster Processing / Resample", con esto todos nuestros ficheros Raster (como el MDE) tendrán el mismo tamaño de píxel.

A continuación muestro los datos que extraemos de la cartografía del BTN:

Núcleos Urbanos:

| Field Name   | Data Type |
|--------------|-----------|
| OBJECTID     | Object ID |
| SHAPE        | Geometry  |
| ETIQUETA     | Text      |
| SHAPE_Length | Double    |
| SHAPE_Area   | Double    |

Vías de Comunicación:

-Autovía

| Field Name   | Data Type |
|--------------|-----------|
| OBJECTID     | Object ID |
| SHAPE        | Geometry  |
| ETIQUETA     | Text      |
| SHAPE_Length | Double    |

-Carreteras Convencionales

| Field Name   | Data Type |
|--------------|-----------|
| OBJECTID     | Object ID |
| SHAPE        | Geometry  |
| ETIQUETA     | Text      |
| TIPO         | Text      |
| ESTADO       | Text      |
| SHAPE_Length | Double    |

-Caminos, pistas y sendas

| Field Name   | Data Type |
|--------------|-----------|
| OBJECTID     | Object ID |
| SHAPE        | Geometry  |
| ETIQUETA     | Text      |
| ESTADO       | Text      |
| SHAPE_Length | Double    |
|              |           |
|              |           |

Línea eléctrica

| Field Name   | Data Type |
|--------------|-----------|
| OBJECTID     | Object ID |
| SHAPE        | Geometry  |
| TIPO         | Text      |
| SHAPE_Length | Double    |
|              |           |
|              |           |

Hidrología

| Field Name   | Data Type |
|--------------|-----------|
| OBJECTID     | Object ID |
| SHAPE        | Geometry  |
| ETIQUETA     | Text      |
| REGIMEN      | Text      |
| SHAPE_Length | Double    |
|              |           |
|              |           |

Parque de Bomberos

Para el parque de bomberos lo único que necesitamos es la posición y el nombre del parque.

\*Cartografía

Lo que vamos a hacer para la cartografía que necesitamos va a ser lo mismo en todas las variables que necesitamos. Esas variables serán: núcleos urbanos, vías de comunicación (autovía, carreteras convencionales y caminos pistas y sendas) línea eléctrica, embalses, parque de bomberos y puntos de agua.

Lo primero de todo tenemos que fusionar los 4 mapas de la hoja del BTN25 en una para trabajar con todo en conjunto. Para ello utilizaremos la herramienta "Analysis Tools / General / Merge", creando una Feature Class de cada una de las variables en nuestra Geodatabase con su respectivo nombre. Como estas nuevas Feature clases obtienen toda la información bruta necesitamos filtrar lo que no nos interesa para ello, dentro de la Geodatabase especificamos los campos a desear gracias a los dominios con la ayuda del catálogo que nos proporciona la BTN.

Una vez creada la nueva Feature Class y establecido nuestros dominios, mediante un "Load Data" exportaremos los datos que deseamos de cada una de las capas.

Cuando ya tenemos la información deseada extraída podemos empezar a trabajar. En primer lugar necesitamos realizar anillos de peligro por lo que haremos buffers con la herramienta "Analysis Tools / Proximity / Multiple ring buffer" (imagen 9), creando zonas de riesgo diferentes en cada variable según nuestro criterio. Más adelante se detallaran esas distancias.

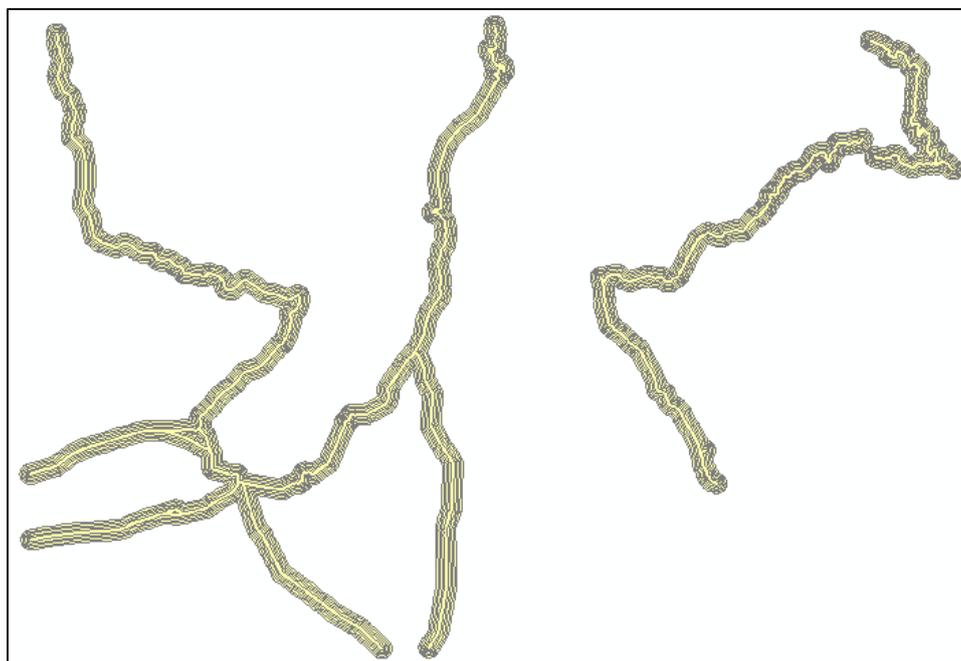


Imagen 9. Ejemplo Buffer carreteras convencionales con las distancias aplicadas a la variable.

Seguido crearemos de esa capa vectorial de polígonos a una capa raster. Con la herramienta "Conversion Tools / Raster / Polygon to raster". En este paso vamos a tener en cuenta 2 factores que son el tamaño de celda que debemos indicar que sea de 30 metros. Y el segundo factor, con la opción de "Entorno" podemos establecer que el tamaño del raster final sea el mismo que el de nuestra zona de trabajo, así como establecer que el sistema de referencia sea el mismo que el de la zona de trabajo, si por el motivo que fuera este no estuviera definido aún.

Finalmente solo nos falta establecer los niveles de peligrosidad, donde para cada intervalo de nuestro ráster le establezcamos niveles de peligrosidad de 1 a 5, esto lo haremos mediante una reclasificación. Utilizaremos la herramienta "Spatial Analyst / Reclass / Reclassify". Hay que dar un valor 0 al NoData, para que a la hora de realizar operaciones con la calculadora Ráster no tengamos problemas.

Al ser la capa resultante mayor que la extensión de la zona de trabajo es necesario extraerla utilizando la herramienta "Herramientas de Spatial Analyst / Extracción / Extraer por Máscara", utilizando la zona de trabajo como contorno.

\*MDE

El Modelo Digital de Elevaciones se obtiene a partir del centro de descargas del IGN señalando la hoja deseada, en nuestro caso la 207. Toda la cartografía derivada del MDE que es Orientación, Iluminación y Pendiente, ya está en formato raster por lo que no tendremos que convertir nada.

El primer paso es realizar un remuestreo del MDT inicial ya que viene inicialmente con un tamaño de pixel de 25 y lo corregiremos a un tamaño de pixel de 30 x 30 para trabajar con todos

los raster igual. Tendremos que asegurar que el sistema de referencia será ETRS 89 UTM Zona 30.

Para obtener el raster de Orientación, usaremos el comando "Spatial Analyst Tools / Surface / Aspect" donde se indica en grados decimales de 0 a 359,9. Es interesante para saber la dirección de la pendiente. Las celdas que tengan un valor de -1 significan que son figuras planas, sin pendiente.

Para la variable de Iluminación usaremos la herramienta "Spatial Analyst tools / Surface / Hillshade", en la que obtenemos como resultado valores entre 0 y 255, el valor 255 será la zona más iluminada y 0 la zona oscura. Ésta variable nos indica el grado de iluminación de la zona.

Para la tercera variable que es la pendiente usaremos la herramienta "Spatial Analyst tools / Surface / Slope", indicamos que nos realice el raster de forma porcentual para saber el porcentaje de pendiente que tiene la zona ya que es variable de peso para la propagación del fuego.

Como última variable derivada del MDE, la Altitud. En esta variable no hay que realizar ninguna operación ya que el MDE es la propia altura del suelo. Asíque, directamente se reclasificará.

Teniendo estas variable se llevara a cabo la reclasificación con la herramienta "Spatial Analyst Tools / Reclass / Reclassify" indicando 5 niveles, del 1 al 5, de peligrosidad según cada variable.

#### \*Puntos de Agua

Para obtener los puntos de agua de la zona hemos diferenciado 2 variables, una que son el almacenamiento de agua proveniente de la cartografía del BTN25 en las capas de BTN25\_ALM\_AGU donde se convertirá de polígonos a puntos ya que solo necesitaremos los puntos de localización de esos puntos de agua. Y la segunda variable serán los embalses, que en este caso, considero toda la zona de la comunidad de Navarra y zona de Aragón contigua a la de Navarra, ya que en la hoja no aparecía ningún embalse y como considero que es muy importante para la extinción del fuego entonces he aumentado la zona a analizar y así existen polígonos de mitigación del incendio.

Para poder convertir de archivo Kml a una capa usaremos la herramienta "Conversion Tools / From KML / De KML to layer", seguidamente realizaremos los pasos que hemos realizado para la cartografía con los buffer.

#### \*Combustibilidad

Para los datos de la combustibilidad partiremos del programa de CORINE LAND COVER, ya que los datos del SIOSE son a partir del año 2005 y podría ser cuestionable ya que el incendio ocurrió el año 2001.

CORINE LAND COVER es un mapa de ocupación del suelo en España. Incluye las versiones de 1990, 2000 y 2006, así como los mapas de cambios de ocupación del suelo entre los años 1990-2000 y 2000-2006. Archivos en formato shapefile comprimidos en formato ZIP, sistema geodésico ETRS89 (en Canarias, WGS84/REGCAN95) y proyección UTM huso 30 (en Canarias, huso 28).

Para poder relacionar nuestra capa de polígonos con la tabla de descripción de coberturas, usaremos la herramienta "Join" en la capa de polígonos. Tendremos que crear un campo nuevo

en la tabla de atributos de la capa de polígonos que tenga el mismo nombre que en la tabla de atributos de la descripción de coberturas para poder relacionarlo.

Una vez esto asignaremos los niveles de peligrosidad creando un nuevo campo de peligrosidad mediante una reclasificación, en primer lugar transformaremos la capa a ráster, recordando que tenemos que especificarle que el campo que queremos que tenga en cuenta es la peligrosidad, finalmente ya podremos reclasificar y obtener el resultado final con nuestros valores de peligrosidad de 1 a 5.

#### \*NDVI

Para obtener el índice de vegetación de diferencia normalizada se obtendrá a partir de la imagen del satélite Landsat antes del incendio (1 de julio). Las imágenes descargadas están divididas por bandas, por lo que tenemos 8 archivos TIFF. Aunque para realizar el índice necesitaremos la banda 4 y la banda 5.

Para obtener el NDVI usaremos la herramienta raster calculator, aquí podemos realizar la operación de  $NDVI = (band\ 4 - band\ 3) / (band\ 4 + band\ 3)$  donde el NDVI generado está comprendido entre -1 y 1

$NDVI = \text{Float} ("LE72000312001182EDC00\_B4.TIF" - "LE72000312001182EDC00\_B3.TIF") / \text{Float} ("LE72000312001182EDC00\_B4.TIF" + "LE72000312001182EDC00\_B3.TIF")$

Una vez obtenido el NDVI con la herramienta de reclasificación y un estudio del histograma podremos obtener un resultado final de peligrosidad entre 1 y 5.

#### \*Litología

Para las capas litológicas del terreno y consigo la retención del suelo hemos trabajado de una forma diferente a todas las anteriores. Viendo que hemos tenido problemas con la descarga de algún shape y tabla de atributos, estudiamos la zona por un .pdf que nos ofrece el Instituto Geológico y Minero de España (IGME) y vemos que existen varias capas pero podíamos crear dos grupos: capas litológicas pertenecientes al cuaternario y otras que son arcillas, areniscas y limos.

Por lo que con ayuda de una imagen de fondo de las capas litológicas, en ArcMap, hemos conseguido digitalizar la zona de forma manual. Era bastante viable ya que la hoja era bastante sencilla de digitalizar.

Finalmente una vez tenemos la capa digitalizada de los distintos tipos de suelo que encontramos pasaremos esta capa a un ráster, utilizando "Conversion Tools / Raster / Polygon to Raster". Una vez esto ya podremos reclasificar los valores de peligrosidad de 1 a 5 como hemos estado haciendo hasta ahora, utilizando "Spatial Analyst / Reclass / Reclassify".

#### \*Información Meteorológica AEMET

Como ya dijimos anteriormente es una zona bastante específica y no contamos con muchas estaciones meteorológicas.

El primer paso para poder trabajar con los datos climatológicos que provienen de tablas Excel es el cambio de coordenadas geodésicas (latitud y longitud) a coordenadas UTM, para poder realizar la importación de los puntos de las estaciones meteorológicas en ArcMap. Para poder insertar estas tablas a ArcMap usaremos "File / Add Data / Add Data XY " esta opción nos permite exportar los puntos de las estaciones a una capa de puntos.

Lo siguiente es realizar la interpolación de los diferentes datos. Creemos que la mejor interpolación es el método IDW (Método Inverso de la Distancia Ponderada), este interpolador equivale a trazar una línea recta entre dos valores conocidos, por tanto todos los valores contenidos en esa línea serán valores pronosticables. Así pues, este método tendrá más fiabilidad cuantas más líneas se tracen alrededor de estos valores conocidos. Los hay que trazan líneas a los 4 vecinos más próximos, hasta los 8. Sin embargo los hay que trazan hasta los 12 vecinos más cercanos por defecto (IDW12). Estas interpolaciones son fidedignas en el sentido de que conservan los valores originales. Variando el número de vecinos seleccionados, además del peso de la distancia en la fórmula del algoritmo, la superficie resultante se verá alterada.

Para ello, utilizaremos la herramienta "Geoestatistical Analyst / Interpolation / IDW".

A la hora de realizar la interpolación, en la extensión de donde se quiere trabajar, debemos hacer que ésta sea igual a la capa Zona de trabajo, ya que así abarcara todo el contorno del mapa, sino hiciéramos esto correríamos el peligro de que parte de la zona de trabajo se quede sin datos.

Después debemos exportar el archivo en formato ráster y aplicar una reclasificación, como ya se ha explicado anteriormente.

## 6. Resultados y Análisis (Ignición)

Una vez que las variables de riesgo han sido definidas, es necesario establecer un criterio coherente para integrarlas de la manera más apropiada. En primer lugar, puesto que el objetivo es obtener un índice de riesgo sintético, las variables deben clasificarse según una escala numérica de riesgo. En muchos casos, la formulación de niveles de riesgo supone un cambio en la naturaleza del dato.

Entre las diferentes variables de riesgo, las de carácter humano revisten una problemática específica dado que existen numerosos de ellos de causa humana. Este tipo de variables son ciertamente complejas de modelar en entorno SIG, por cuanto son muy diversas y difíciles de espacializar.

A continuación, se va a reflejar los pasos que se han seguido para la utilización de los diferentes datos y variables que servirá finamente para la obtención del mapa de riesgo de ignición.

Hay que destacar que en todos los mapas tanto los de las variables como los finales, la fecha que aparece es la fecha del día del incendio.

### 6.1. Núcleos Urbanos

Las zonas más cercanas a los núcleos de población son propias de que se frecuente por personas, y por tanto, es susceptible a que se lleve a cabo un incendio intencionadamente. Se sabe que la quema de zonas de campo agrícolas para obtener pastos es frecuente en las inmediaciones de las poblaciones. Nuestra zona es básicamente toda zona de cultivo por ello hay que tenerlo muy en cuenta.

Se considera una distancia de 300 metros en el buffer para que el riesgo de ignición se produzca, ya que en esas inmediaciones habrá más tráfico de personas y más continuo que en 1500 metros donde se aleja de los núcleos urbanos.

En la tabla siguiente se muestran los intervalos de los buffers y la asignación que se ha dado a cada anillo, es decir, su valoración numérica utilizada para el mapa de peligro de ignición.

| Distancia Buffer (metros) | Peligro  | Valor |
|---------------------------|----------|-------|
| 0-300                     | Muy Alto | 5     |
| 300-600                   | Alto     | 4     |
| 600-900                   | Medio    | 3     |
| 900-1200                  | Bajo     | 2     |
| 1200-1500                 | Muy Bajo | 1     |



## 6.2. Líneas eléctricas

El riesgo eléctrico se produce en toda tarea que implique actuaciones sobre instalaciones eléctricas de baja, media y alta tensión, utilización, manipulación y reparación del equipo eléctrico de las máquinas, así como utilización de aparatos eléctricos en entornos para los cuales no han sido diseñados.

La normativa a nivel nacional que hay que tener en cuenta es el Real Decreto 223/2008, de 15 de febrero, por el que se aprueba el reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en líneas eléctricas de alta tensión y sus instrucciones técnicas complementarias ITC-LAT 01 a 09, en concreto el apartado del Reglamento 5.- Distancias mínimas de seguridad, subapartado 5.12.-Pasos por zonas.

Cuando una línea eléctrica pasa por una zona de bosque, árboles y masas de arbolado las distancias de seguridad que deben establecerse en la zona de servidumbre de vuelo de la línea correspondiente, siempre con un mínimo de 2 metros a cada lado de la proyección de la línea, es el resultado de sumar 1,5 metros más la distancia indicada en función de la tensión más elevada (desde 0,08 metros con una tensión de 3,6 kV hasta los 2,8 metros con una tensión de 420 kV).

En la zona elegida hay muy pocas líneas eléctricas pero ya que es una variable bastante importante se tiene en cuenta igual.

Al ser esa distancia mínima y al tener un tamaño de pixel de 30 metros adaptamos la mínima distancia que podemos coger para la clasificación del riesgo de incendio.

| Distancia Buffer (metros) | Peligro  | Valor |
|---------------------------|----------|-------|
| 0-30                      | Muy Alto | 5     |
| 30-60                     | Alto     | 4     |
| 60-90                     | Medio    | 3     |
| 90-120                    | Bajo     | 2     |
| 120-150                   | Muy Bajo | 1     |

Cartografiado del peligro de incendio forestal para la comarca de Tafalla (Navarra).

### 6.3. Vías de comunicación

Tomamos esta variable de vías de comunicación en el mapa de riesgo de incendio y concretamente en el apartado de ignición ya que se tiene que suponer que son una vía de accesibilidad para la población hacia terreno forestal. A la hora de analizar estas vías se decide que las zonas más próximas a estas tienen un riesgo mayor de ignición simplemente por lanzamiento de objetos, colarse en zonas colindantes... etc. Causas humanas voluntarias.

También metemos las vías de comunicación en el apartado de propagación porque pueden actuar como cortafuegos y reducir el peligro de que se propague el incendio al encontrar alguna vía citadas a continuación.

Para estas variables, hemos destacado 3 grandes grupos:

#### -Autopistas y Autovías:

El primer grupo de las vías de comunicación pertenecen a las Autopistas y Autovías, la vía de comunicación más grande. Pistas de circulación para automóviles y vehículos terrestres de carga (categóricamente los vehículos de motor) y de pasajeros. Debe ser rápida, segura, y admitir un volumen de tráfico considerable, dispone de más de un carril para cada sentido con calzadas separadas. Estas vías son más controladas por la policía debido a la influencia de tráfico que puede pasar por ellas.

En este tipo de vías es muy poco probable la influencia de personas sin su vehículo, por ello, es muy poco probable que personas pirómanas inicien un incendio intencionado cerca de estas vías. En nuestro caso, no existen autopistas pero sí que pasa por la hoja 207 del BTN una autovía A-127 alejada de la zona del incendio.

| Distancia Buffer (metros) | Peligro  | Valor |
|---------------------------|----------|-------|
| 0-30                      | Muy Alto | 5     |
| 30-60                     | Alto     | 4     |
| 60-90                     | Medio    | 3     |
| 90-120                    | Bajo     | 2     |
| 120-150                   | Muy Bajo | 1     |

#### -Carreteras convencionales:

Las carreteras convencionales son aquellas que no reúnen las características propias de las autopistas, autovías y vías rápidas, es decir, poseen calzada única, no tienen limitación de accesos a propiedades colindantes y los cruces se pueden efectuar a nivel. También se permite en estas carreteras estacionar en el arcén de las carreteras por lo que el peligro de que personas lleven a cabo un incendio intencionado son mayores.

Como el peligro es mayor que las autovías y autopistas establecemos una distancia de 60 metros dentro la cual el riesgo es extremo, por causas humanas intencionadas.

| Distancia Buffer (metros) | Peligro  | Valor |
|---------------------------|----------|-------|
| 0-60                      | Muy Alto | 5     |
| 60-120                    | Alto     | 4     |
| 120-180                   | Medio    | 3     |
| 180-240                   | Bajo     | 2     |
| 240-300                   | Muy Bajo | 1     |

-Caminos pistas y sendas:

Y el tercer tipo de vías y como más importante está el de caminos, pistas y sendas. Es de las vías menos utilizadas y por ello alejadas de las zonas pobladas en su mayoría, son el campo perfecto para provocar un incendio intencionadamente. Tomamos como los mayores valores de peligrosidad en vías para este caso, siendo de 90 metros.

| Distancia Buffer (metros) | Peligro  | Valor |
|---------------------------|----------|-------|
| 0-90                      | Muy Alto | 5     |
| 90-180                    | Alto     | 4     |
| 180-270                   | Medio    | 3     |
| 270-360                   | Bajo     | 2     |
| 360-450                   | Muy Bajo | 1     |

Cartografiado del peligro de incendio forestal para la comarca de Tafalla (Navarra).



Cartografiado del peligro de incendio forestal para la comarca de Tafalla (Navarra).

#### 6.4. Cantidad de Vegetación (NDVI)

El Índice de vegetación de diferencia normalizada, también conocido como NDVI por sus siglas, es un índice usado para estimar la cantidad, calidad y desarrollo de la vegetación con base a la medición, por medio de sensores remotos instalados comúnmente en una plataforma espacial, de la intensidad de la radiación de ciertas bandas del espectro electromagnético que la vegetación emite o refleja.

Las plantas absorben radiación solar en la región espectral de radiación fotosintética activa, la cual es usada como fuente de energía en el proceso de fotosíntesis. Las células vegetales han evolucionado para dispersar la radiación solar en la región espectral del infrarrojo cercano, la cual lleva aproximadamente la mitad del total de la energía solar, debido a que el nivel de energía por fotón en ese dominio (de longitud de onda mayor a los 700 nm) no es suficiente para sintetizar las moléculas orgánicas: una fuerte absorción en este punto sólo causaría un sobrecalentamiento de la planta que dañaría los tejidos. Por lo tanto, la vegetación aparece relativamente oscura en la región de radiación fotosintética activa y relativamente brillante en el infrarrojo cercano.

El índice de vegetación de diferencia normalizada, NDVI, se calcula a partir de estas medidas individuales de la siguiente manera:

$$NDVI = \frac{(IRCercano - ROJO)}{(IRCercano + ROJO)}$$

En donde las variables ROJO e IR Cercano están definidas por las medidas de reflexión espectral adquiridas en las regiones del rojo e infrarrojo cercano, respectivamente. Estas reflexiones espectrales son en sí cocientes de la radiación reflejada sobre la radiación entrante en cada banda espectral individual; por tanto, éstos toman valores entre un rango de 0,0 a 1,0. El NDVI varía como consecuencia entre -1,0 y +1,0.

Una de las principales aplicaciones del NDVI es la vigilancia de las áreas forestales a partir del estudio de su evolución. Su medición permite el análisis de las variaciones temporales y espaciales de la vegetación.

El agua tiene reflectancia  $R > IRC$ , por lo tanto valores negativos de NDVI.

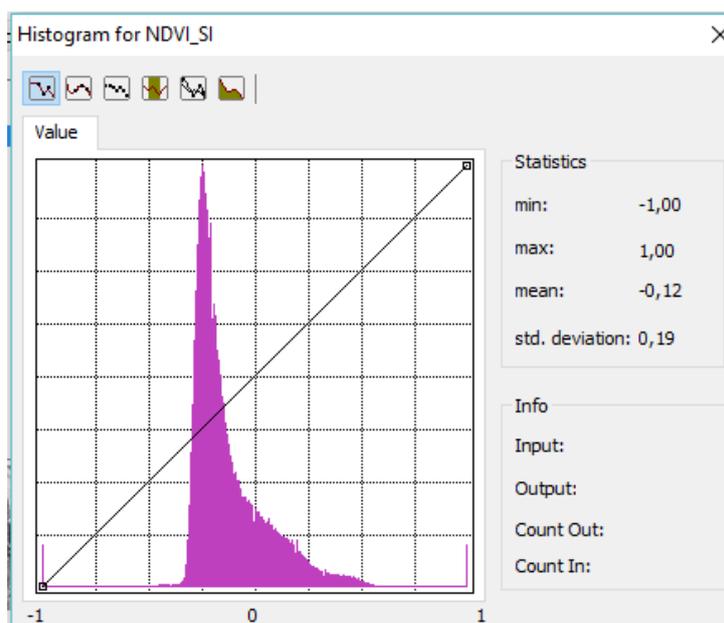
Las nubes presentan valores similares de  $R$  e  $IRC$ , por lo que su NDVI es cercano a 0.

El suelo descubierto y con vegetación rala presenta valores positivos aunque no muy elevados.

La vegetación densa, húmeda y bien desarrollada presenta los mayores valores de NDVI.

Para realizar esta fase usaremos la opción de raster calculator y generaremos el NDVI indicando la formula anteriormente citada.

Para la elección de los intervalos de la clasificación de los valores de peligrosidad hemos realizado un estudio del histograma.



Del -1 al -0.1 suelo desnudo o semidesnudo, zonas urbanas...etc. Vemos que la zona es una zona de cultivo prácticamente todo por ello salen la mayoría de los valores entre ese rango. A partir del 0.1 vegetación escasa hasta 0.50 más o menos donde la vegetación es mayor pero con menor número de píxeles.

Hay que aclarar que en el estudio del histograma del índice NDVI no garantiza que los intervalos elegidos sean los correctos. Lo ideal hubiese sido realizar un muestreo sobre la imagen del NDVI en lugares con distintas cubiertas (urbano, agua, forestal, cultivo, etc) y en función de ese muestreo considerar esos umbrales.

| Valor Histograma | Peligro  | Valor |
|------------------|----------|-------|
| -1 - - 0,36      | Muy Bajo | 1     |
| -0,36- -0,11     | Bajo     | 2     |
| -0,11 - 0,12     | Medio    | 3     |
| 0,12 - 0,62      | Alto     | 4     |
| 0,62 - 1         | Muy Alto | 5     |

Cartografiado del peligro de incendio forestal para la comarca de Tafalla (Navarra).

## 6.5. Altitud

La altitud influye en el comportamiento del incendio. Normalmente esperamos menores temperaturas a mayor altitud. Con esta menor temperatura del aire, es mayor el contenido de humedad del combustible. Por ello, podemos esperar que los combustibles, a mayor altitud, tarden más tiempo en alcanzar la temperatura de ignición.

Además, normalmente, cuanto mayor es la altitud mayor es la precipitación y, por tanto, encontraremos combustibles con el comportamiento ya estudiado. Con todas estas características en mente, podemos deducir que a mayor altitud la incidencia de incendios es menor, y de hecho, es lo que ocurre.

Además, el período en el que ocurren incendios más graves es más corto cuando aumenta la altitud, ya que la estación seca es más corta.

Las partes superiores de las cordilleras tienen mayor precipitación que las inferiores. Como norma general, la cantidad de combustible disminuye al aumentar la altitud.

Las laderas se dividen en tres zonas:

- Tercio inferior, que incluye el valle. En él las temperaturas son más altas y generalmente hay más combustible. Alta intensidad del fuego.
- Tercio intermedio. Menos combustible, pero posibilidad de formación en él de un cinturón intermedio.
- Tercio superior. Propagación más lenta por menos disponibilidad de combustible, pero es la zona a veces más conflictiva porque es donde ocurren cambios bruscos de viento.

Dado que es una zona de valles y zona de cultivo, la variación de altura está en más de 300 metros. Por lo que estimamos en 150 metros de desnivel para que la temperatura y la sequedad del combustible disminuyan. Aunque cada 1000 metros esto sucede.

| Altura (metros) | Mitigacion | Valor |
|-----------------|------------|-------|
| 317,7-450       | Alto       | 4     |
| 450-600         | Medio      | 3     |
| 600-750         | Bajo       | 2     |
| > 750           | Minimo     | 1     |

Cartografiado del peligro de incendio forestal para la comarca de Tafalla (Navarra).

### 6.6. Iluminación

Otra variable que sacamos del Modelo Digital de Elevaciones es la iluminación de la zona. La iluminación de las diferentes laderas de las montañas tiene un efecto muy importante sobre la temperatura que se va a registrar y sobre el estado hídrico de los combustibles vegetales muertos.

El incendio sucedió el mes de agosto donde el sol es más intenso por ello cuanto más iluminación más peligro de ignición. Los valores van de 0 a 255 lúmenes que indica el nivel más alto de iluminación en esa zona, a continuación se muestra como he decidido valorarlo.

| Lúmenes | Peligro | Valor |
|---------|---------|-------|
| 254-194 | Alto    | 5     |
| 194-155 | Medio   | 4     |
| 23-155  | Bajo    | 3     |

Cartografiado del peligro de incendio forestal para la comarca de Tafalla (Navarra).

### 6.7. Precipitación

La influencia de la precipitación sobre el contenido de humedad del combustible es evidente, si bien no es fácil determinar la respuesta de la vegetación a distintas cantidades de precipitación.

Los valores elegidos para el análisis vienen de la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) y corresponde a la intensidad de lluvia en 1 hora que es la media de la suma de precipitaciones de los días del mes (en este caso del mes de agosto del año 2001).

Según la intensidad: comúnmente la lluvia se caracteriza por ser adjetivada por cantidad de precipitación por hora, siendo la manera más conocida de medir: milímetros por hora. Así, se identifican las siguientes variantes:

Débiles: menos de 2 mm/h

Moderadas: entre 2 y 15 mm/h

Fuertes: entre 15 y 30 mm/h

Muy fuertes: entre 30 y 60 mm/h

Torrenciales: más de 60 mm/h

Por lo que cuanta menos precipitación más seco estará el combustible por tanto mayor peligro. A continuación se muestra

| Precipitacion (mm/dia) | Peligro | Valor |
|------------------------|---------|-------|
| 0,77 - 1,94            | Alto    | 5     |
| 1,94 - 2,75            | Medio   | 4     |
| 2,75 - 5,29            | Bajo    | 3     |



### 6.8. Temperatura

La temperatura es un factor de suma importancia en la formación de un tipo de clima, estando condicionado a su vez por aspectos como la radiación solar y la insolación media entre otros. En la caracterización térmica de una zona, es básica la determinación de la temperatura media anual.

Los datos que nos interesan de la temperatura también vienen de la AEMET y hemos tenido en cuenta la temperatura media de las temperaturas máximas del mes, es decir, ponernos en la situación más desfavorable.

| Temperatura | Peligro  | Valor |
|-------------|----------|-------|
| 31,4 - 34,6 | Muy Alto | 5     |

Cartografiado del peligro de incendio forestal para la comarca de Tafalla (Navarra).

### 6.9. Retención de agua del suelo

Tanto la capacidad de retención de agua como la infiltración, dependen de la porosidad del suelo, al ser los micro poros los que determinan la retención y los macro poros la infiltración. Si recordamos que las fuerzas de adsorción, que aparecen entre la superficie de las partículas minerales y el agua, eran las responsables de la retención de ésta en los micro poros, comprenderemos la gran importancia que tendrá el área superficial de estas partículas en el total de agua retenida.

La propiedad del suelo directamente relacionada con el área superficial de las partículas es la textura o distribución de las partículas minerales según su tamaño. Conociendo la textura se puede conocer muchas de las propiedades hídricas de los suelos. Además la textura es una propiedad muy estable en los suelos, mientras que la estructura y la cantidad y tipo de materia orgánica, que también influyen en las propiedades hídricas, son propiedades que pueden variar a corto y medio plazo (lluvias intensas, cambios en la vegetación, puesta en cultivo de los suelos,..).

Se puede generalizar afirmando que:

- 1) cuanto mayor es el tamaño de las partículas más rápida es la infiltración y menor es el agua retenida por los suelos (los suelos arenosos son más permeables y retienen menos agua que los arcillosos;
- 2) los suelos con buena estructura tienen mayor velocidad de infiltración que los compactados;
- 3) el mayor contenido en materia orgánica aumenta el agua retenida por el suelo y
- 4) como es lógico, a mayor espesor del suelo mayor capacidad de retener agua.

Como hemos comentado antes, la textura y las propiedades hídricas de un suelo están muy relacionadas, por lo que se puede atribuir a cada tipo de textura un determinado comportamiento hídrico.

Toda la información la hemos sacado del instituto geológico y minero de España (IGME), en el cual hemos tenido algún problema ya que no hemos podido descargar la hoja en formato shape para su mejor análisis por lo que viendo la imagen de la litología, nuestra hoja era bastante sencilla, decidimos digitalizarla y agrupar los diferente tipos de litologías expuestas en ella.

Para ello creamos una nueva feature class llamada "litología" para dibujar encima de ella. En el fondo pusimos la capa de IGME gracias a una petición del servicio WMS: [http://mapas.igme.es/gis/services/Cartografia\\_Geologica/IGME\\_MAGNA\\_50/MapServer/WMSServer](http://mapas.igme.es/gis/services/Cartografia_Geologica/IGME_MAGNA_50/MapServer/WMSServer) , para así digitalizar lo mejor posible la capa.

Las capas que aparecen en la hoja son:

- 1 Arcillas y areniscas formando paleocanales
- 2 Arcillas areniscas y esporádicamente conglomerados
- 3 Conglomerados, areniscas
- 4 Arcillas, limos y areniscas en paleocanales
- 5 Glacis: Gravas, arenas, limos y arcillas
- 6 Terraza 1: Conglomerados, gravas, arenas y limos. Localmente costra calcárea

- 7 Terraza 2: Gravas, arenas y limos
- 8 Terraza 3: Gravas, arenas y limos
- 9 Terraza 4: Gravas, arenas y limos
- 10 Terraza 5: Gravas, arenas y limos
- 11 Llanura aluvial: Gravas, arenas, limos y arcillas
- 12 Relleno de valle: Limos, con cantos sueltos
- 13 Derrubios de ladera: Gravas
- 14 Meandro abandonado
- 15 Barras de acreción lateral actual

Vimos que mejor sería agrupar toda la litología en 2 grandes grupos, el primero es de arcillas, areniscas y limos, compuestos por el grupo 1, 2, 3 y 4. El segundo todo proveniente del Cuaternario que son el resto de grupos citados anteriormente. Finalmente nos sale un raster bastante reducido y fácil de analizar.

En cuanto a los valores adoptados, el suelo perteneciente al cuaternario es un suelo que absorbe poco el agua debido al tamaño de las partículas y escasa capacidad de retener agua, por lo tanto tiene un peligro considerable al ser suelo seco. Y el otro grupo de arcillas al ser un suelo más compactado, mayor retención de agua y con un peligro bajo al mantener húmedo el suelo.

Estos son los valores adoptados:

| Suelo                    | Peligro | Valor |
|--------------------------|---------|-------|
| Cuaternario              | Alto    | 4     |
| Areniscas arcillas limos | Bajo    | 2     |



### 6.10 Riesgo de Ignición

Una vez ya tenemos todas las capas que necesitamos para realizar el mapa de riesgo de ignición y reclasificadas con sus niveles de peligrosidad, lo único que queda es hacer la operación anteriormente citada:

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

Lo que sí que hay que destacar son los pesos que hemos asignado a cada variable, para las vías de comunicación, hemos repartido la unidad en 0,2 para autovías y carreteras convencionales y el resto 0,6 para los caminos, pistas y sendas donde se puede producir un incendio intencionado con más facilidad.

También hemos asignado 0,2 ya que el mes cuando se produjo el incendio y viendo las temperaturas que hubo ese día, la retención de agua será muy poca.

Para ello hemos utilizado la herramienta "Raster Calculator", ya que permite la operación.

La fórmula introducida en el programa será la siguiente:

$$PI = 4 * [ ("Líneas Eléctricas" + "Núcleos Urbanos" + (0,2 * "Autovías" + 0,2 * "Carreteras Convencionales" + 0,6 * "Sendas, Caminos y Pistas")) / 3 ] + 3 * [ ("NDVI" + (0,2 * "Retención de agua") + "Temperatura" + "Precipitaciones") / 4 ] + 2 * [ "Iluminación" ] - "Altitud".$$

## 7. Resultados y Análisis (Propagación)

La diferencia entre el riesgo de ignición y el riesgo de propagación es que el primero indica el peligro de que un incendio ocurra y el segundo indica que a partir de ese fuego iniciado el riesgo que tiene de extenderse.

La modelización se hizo considerando la peor situación para la propagación del fuego, es decir, que la velocidad del viento, la temperatura fuese la media de las máximas para los meses de verano y mínima para la humedad. La mayor parte de los modelos de propagación del fuego están diseñados para simular condiciones locales, no regionales. En nuestro caso, se pretendía estimar de alguna forma la variación espacial, en nuestras regiones de estudio, de la capacidad de propagar el fuego.

Los factores que más influyen en la propagación son el tipo de combustible y la humedad relativa del combustible vivo y muerto.

A continuación se va a explicar cómo se ha trabajado con la información existente para obtener variables que sirvan para un mapa de propagación de incendio.

### 7.1. Combustibilidad

Los modelos de combustibles forestales son un esquema abstracto de una realidad compleja, que se han elaborado para poder facilitar la comprensión de su estructura y del comportamiento del fuego en ellos. La evolución a lo largo de los últimos años de los diversos modelos de combustibles forestales a nivel mundial, ha dado lugar a diversos sistemas de clasificación de los mismos, pretendiendo cada sistema abarcar todos los casos presentes en las zonas geográficas a las que se refiere.

Centrándonos en Navarra, procede describir el conjunto de los modelos aquí presentes, siguiendo los criterios de clasificación utilizados en U.S.A. a partir de 1987. Esto supone que los trece modelos de combustibles forestales que se describen para Navarra (*imagen 10*) tienen una interpretación clara en la literatura técnica Norte-Americana y en cuantos trabajos siguen esta referencia. Se establecen a partir del propagador principal del fuego, cuatro grupos básicos de combustibles: Herbáceas, matorrales, hojarasca bajo arbolado y desechos o restos de cortas. La combinación de los cuatro grupos básicos da lugar a diversos modelos de combustibles. La climatología, topografía y composición florística motivan que la combinación de los cuatro grupos básicos genera en cada zona unas características locales específicas, que se tienen en cuenta en la descripción. Por ello, los conceptos referentes a la combustión como la carta de combustible, continuidad horizontal, distribución vertical, compactación, “tiempo de retardación”, etc. se verán afectados por esas características locales específicas.

Para reflejar una sistematización del conjunto de modelos, se ha elaborado el cuadro esquemático, donde los trece modelos se encuadran en los grupos básicos de combustibles y se señalan sus características más destacables. La evolución en el tiempo de la intervención del hombre y del desarrollo de la vegetación, hacen que estos modelos tengan una vigencia temporal que deberá ser revisada con los datos actualizados en períodos de tiempo significativos para estos cambios calificables de “naturales”. Además, posibles catástrofes climáticas, de contaminación o incendios también podrán modificar el mapa descrito en una cuantía y cualidad considerables.

| <b>MODELOS DE COMBUSTIBLES FORESTALES (Fuel types)</b> |                                                                                                   |         |
|--------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|
| Grupos Básicos de combustibles                         | Características                                                                                   | Modelos |
| <b>HERBACEAS</b>                                       | Pequeña tala, consistencia fina y carga ligera                                                    | 1       |
|                                                        | Acompañadas de matorral o arbolado en menos de 2/3 de su superficie                               | 2       |
|                                                        | Mayor talla, alrededor de 1m                                                                      | 3       |
| <b>MATORRALES</b>                                      | Maduros de más de 2 mts. Y repoblados jóvenes                                                     | 4       |
|                                                        | Talla pequeña, continuos, mezclados con herbáceas                                                 | 5       |
|                                                        | Talla intermedia entre los anteriores, con discontinuidades de herbáceas.                         | 6       |
|                                                        | Inflamables bajo coníferas, talla entre 0,6 y 2 mts.                                              | 7       |
| <b>HOJARASCA Y ACICULAS BAJA ARBOLADO</b>              | Compactada                                                                                        | 8       |
|                                                        | Poco compactada, procede de coníferas de acícula larga y de frondosas                             | 9       |
|                                                        | * Grandes acumulaciones de combustibles, procedentes de bosques enfermos y de árboles derribados. | 10      |
| <b>RESTOS O DESHECHOS DE CORTAS</b>                    | * Restos procedentes de cortas parciales, hasta 25 Tn / Ha.                                       | 11      |
|                                                        | * De cortas intensas o talas rasas, hasta 80 Tn / Ha.                                             | 12      |
|                                                        | * Talas en bosques maduros, hasta 450 Tn/ Ha.                                                     | 13      |

\* Este asterisco señala los modelos de carácter ocasional, que constituyen una importante información que deberá completar la permanente.

Imagen 10. Modelos de combustible (Comunidad Foral de Navarra)

Una vez establecidos los 13 modelos de combustibles podremos otorgarle los valores de peligrosidad. Del programa Corine Land Cover, nos descargamos todas las áreas de nuestra zona de trabajo donde encontramos los distintos tipos de cubierta. Estas cubiertas abarcan una amplia gama de posibilidades ya que no solo estima el tipo de cubierta que hay sino también el % que hay de cada una. Dado que nos encontramos con la problemática de la gran variedad de cubiertas hemos estimado unos valores de peligrosidad fijos siempre que el suelo predominante se igual o mayor al 70% y para todas aquellas que no lo cumplen se han asignado un criterio in situ dependiendo de los tipos de cubierta encontrados.

Como ya hemos dicho antes, se escoge la cartografía de Corine Land Cover ya que el SIOSE no nos sirve porque empieza a funcionar a partir del 2005 y la fecha del incendio es anterior. También podemos decir que la clasificación del terreno y sus niveles de jerarquía son más simplificados que en SIOSE.

No obstante las valoraciones se han basado en el siguiente criterio:

| Cubierta                                     | Peligro  | Valor |
|----------------------------------------------|----------|-------|
| Arrozales                                    | Medio    | 3     |
| Bosque Mixto                                 | Muy Alto | 5     |
| Coniferas                                    | Muy Alto | 5     |
| Bosque frondoso                              | Muy Alto | 5     |
| Vegetacion escasa                            | Muy Bajo | 1     |
| Matorral boscos de transición                | Muy Alto | 5     |
| Matorral esclerofilos                        | Muy Alto | 5     |
| Mosaico de cultivos                          | Alto     | 4     |
| Pastizales                                   | Muy Alto | 5     |
| Tejido urbano continuo                       | Nulo     | 0     |
| Terreno agricola pero con vegetacion natural | Medio    | 3     |
| Terrenos regados                             | Medio    | 3     |
| Tierras secano                               | Alto     | 4     |
| Viñedos                                      | Alto     | 4     |

Todas las coberturas que aparecen en el cuadro, son las 14 coberturas que aparecen en la hoja 207 del terreno en el programa CORINE LAND COVER, las cuales hemos ido asignando los valores que creíamos necesarios dependiendo del grado de composición de las cubiertas.

Cartografiado del peligro de incendio forestal para la comarca de Tafalla (Navarra).

## 7.2. Pendiente

Es el principal factor. Con pendiente fuerte se acelera la propagación, ya que:

- Los combustibles están más cerca de las llamas.
- El precalentamiento del combustible es más rápido.
- La velocidad del viento aumenta.
- Se desarrolla rápidamente la columna de convección.

La pendiente afecta directamente a la longitud de llama y a la velocidad de propagación. En condiciones constantes de viento y combustibles, cuanto más pronunciada sea una pendiente, tanto mayor serán la longitud de llama y la velocidad de propagación. En estas condiciones la proyección de focos es muy probable, tanto por delante del frente de llamas como por debajo debido al material rodante.

Cabe destacar que en cuanto a la vegetación a mayor pendiente la vegetación será menor ya que no se puede desarrollar con tanta facilidad por la escasez de suelo, es por eso que a pesar que a mayor pendiente el peligro de propagación es mayor, también tenemos que a una pendiente muy pronunciada la vegetación deja de existir y la peligrosidad será cada vez menor.

A continuación se muestra nuestro criterio en la siguiente tabla:

| Pendiente | Peligro  | Valor |
|-----------|----------|-------|
| 0-5       | Muy Bajo | 1     |
| 5-20      | Bajo     | 2     |
| 20-40     | Medio    | 3     |
| > 40 %    | Alto     | 4     |

Cartografiado del peligro de incendio forestal para la comarca de Tafalla (Navarra).

### 7.3. Orientación

Es la dirección hacia la que mira una pendiente. Si la pendiente mira directamente al sur, se dice que tiene exposición solana, si mira al norte, se dice que es umbría.

Los rayos de sol afectan más a las exposiciones sur. Sin embargo, las caras que miran al Suroeste son bastante parecidas, porque están expuestas a los rayos directamente durante la parte más caliente del día. Debemos concluir que las caras sur tienen características distintivas, y está probado que las mayores temperaturas y los vientos del Sureste secan las exposiciones sur en una mayor profundidad e intensidad.

Las solanas suelen tener diferentes tipos de combustibles y densidades que las exposiciones norte.

En las solanas normalmente encontramos combustibles más ligeros y rápidos, la continuidad del combustible puede ser bastante desigual (por zonas), pero no siempre es así. Con estos combustibles más secos y fácilmente incendiables las exposiciones sur son más sensibles a los incendios y tienen un potencial mayor para incendios fuertes. Además, los vientos locales ascendentes de día aparecen antes en las exposiciones este y sur (solanas) que en las umbrías.

| Intervalo (º) | Orientacion | Peligro  | Valor |
|---------------|-------------|----------|-------|
| 0 - 22,5      | Norte       | Medio    | 3     |
| 22,5-67,5     | Nordeste    | Medio    | 3     |
| 67,5-112,5    | Este        | Alto     | 4     |
| 112,5-157,5   | Sudeste     | Muy Alto | 5     |
| 157,5-202,5   | Sur         | Muy Alto | 5     |
| 202,5-247,5   | Sudoeste    | Muy Alto | 5     |
| 247,5-292,5   | Oeste       | Alto     | 4     |
| 292,5-337,5   | Noroeste    | Medio    | 3     |
| 337,5-360     | Norte       | Medio    | 3     |
| -1            | Plano       | Alto     | 4     |

Cartografiado del peligro de incendio forestal para la comarca de Tafalla (Navarra).

#### 7.4. Parques de Bomberos

Los bomberos son los profesionales encargados de extinguir el fuego, por tanto se cree conveniente la integración de este mapa a la determinación del peligro de propagación.

Se han recogido todos los parques de bomberos de la comunidad Foral de Navarra y hemos realizado el análisis a partir de toda la zona completa de la provincia ya que solo en la hoja no aparecía ningún parque. Hemos tomado un buffer de 5 km como mitigación del peligro muy alto, ya que pensamos que es buena distancia para llegar al lugar de incendio y poder extinguirlo.

Al tratarse de una mitigación del peligro el valor es más alto al estar más cerca del parque de bomberos ya que tardarían menos en llegar y empezar a extinguirlo. Cuanto más lejos esté el parque de bomberos menos mitigación por el tiempo que puede pasar hasta que aparezcan.

| Distancia (km) | Mitigación | Valor |
|----------------|------------|-------|
| 0-10           | Alto       | 4     |
| 10-15          | Medio      | 3     |
| 15-20          | Bajo       | 2     |
| 20-25          | Muy Bajo   | 1     |

Cartografiado del peligro de incendio forestal para la comarca de Tafalla (Navarra).

### 7.5. Puntos de agua

El agua es un elemento fundamental para la extinción de un incendio forestal. Por tanto la disponibilidad de agua en las zonas cercanas al incendio facilitará las labores de la detención del mismo.

Repartidos por el territorio existen diferentes puntos de agua donde se deposita el agua, tanto naturales como superficiales, todos ellos son susceptibles de integrarse o formar parte de la red óptima de puntos de agua, siempre que los medios de extinción puedan hacer uso de ellos en condiciones de seguridad.

Tenemos que destacar para todo lo que sea recogida de agua para la extinción del incendio, dos variables. La primera son los puntos de agua ya dados por la cartografía del BTN25 que son los almacenamientos de agua, todo lo que tenga que ver con piscinas, balsas... etc donde se permita coger agua.

Y la segunda variable la tuvimos que sacar desde Google Earth e ir marcando uno a uno los embalses de la Comunidad Foral de Navarra, hacer una capa nueva de puntos y de ahí exportaremos de un archivo .kml a un archivo shape y otra vez el mismo trabajo que con todo la cartografía anterior.

Para ambos casos hemos decidido aplicar un buffer de 2 kilómetros para la máxima mitigación.

| Distancia (km) | Mitigación | Valor |
|----------------|------------|-------|
| 0-2            | Muy Alta   | 5     |
| 2-4            | Alta       | 4     |
| 4-6            | Media      | 3     |
| 6-8            | Baja       | 2     |
| 8-10           | Muy Baja   | 1     |

Cartografiado del peligro de incendio forestal para la comarca de Tafalla (Navarra).

### 7.6. Cortafuegos, Hidrología y Vías de comunicación

Conjunto de acciones sobre la vegetación, de carácter longitudinal, que persiguen la reducción del combustible en disposición de arder, a la vez que se disminuye su combustibilidad por eliminación de continuidades de la vegetación tanto horizontales como verticales. Estas acciones pueden ser líneas cortafuegos, áreas cortafuegos y fajas auxiliares y para su incorporación a los Planes de Prevención han de reunir las condiciones que se recogen a continuación.

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

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

La capa de cortafuegos que nos proporcionada es muy escasa ya que apenas se puede apreciar y son mínimos los pixeles que se quedan finalmente como cortafuegos, aun así se meten en el análisis.

También tenemos en cuenta las vías de comunicación como elementos artificiales ya que cuando un incendio se propaga y se encuentra con un camino que son de tierra y gravilla, la mitigación del incendio es máxima ya que no hay posible combustible para que continuara su expansión.

En cuanto a la hidrología, lo primero que hacemos es descartar todos los ríos que están secos o no permanentes y nos quedamos con los activos, como herramienta de cortafuegos.

| Cortafuegos          | Mitigacion | Valor |
|----------------------|------------|-------|
| Hidrologia           | Media      | 3     |
| Cortafuegos          | Maxima     | 5     |
| Vias de Comunicación | Maxima     | 5     |



### 7.7. Viento

El viento es el movimiento del aire sobre la superficie terrestre. Este movimiento se desencadena debido a la presencia de masas de aire de diferentes temperaturas. El aire caliente pesa menos y asciende, volviendo a la superficie terrestre por efecto de la gravedad en áreas más frías. La diferencia de temperaturas a su vez provoca una diferencia de presiones atmosféricas, de tal modo que se establecerá una circulación entre los centros de alta y baja presión. La fuerza con la que se mueve el aire depende de la distancia entre los centros de presión y el gradiente de los mismos.

Para nuestro trabajo necesitamos dos variables del viento que son la velocidad y la dirección del mismo, obtenidos como todos los datos climatológicos de la AEMET.

Para el análisis de la velocidad del viento nos hemos guiado por:

| Número Beaufort | Descripción           | Velocidad del viento [Nudos] | Equivalente [m/s] | Especificaciones para observaciones sobre suelo firme                                                               |
|-----------------|-----------------------|------------------------------|-------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 0               | Calma                 |                              | 0 - 0.2           | Calma, el humo sube verticalmente.                                                                                  |
| 1               | Ventolina             | 1 - 3                        | 0.3 - 1.5         | Se define la dirección del viento por el humo, pero por veletas                                                     |
| 2               | Brisa suave           | 4 - 6                        | 1.6 - 3.3         | El viento se siente en la cara; se mueven las hojas de los árboles; el viento mueve las veletas.                    |
| 3               | Brisa leve            | 7 - 10                       | 3.4 - 5.4         | Las hojas y ramas pequeñas se hallan en constante movimiento                                                        |
| 4               | Brisa moderada        | 11 - 16                      | 5.5 - 7.9         | Se levanta polvo y papeles sueltos; se mueven las ramas pequeñas de los árboles.                                    |
| 5               | Brisa fresca          | 17 - 21                      | 8.0 - 10.7        | Se mueven los árboles pequeños; se forman pequeñas olas en estanques y lagunas.                                     |
| 6               | Brisa fuerte          | 22 - 27                      | 10.8 - 13.8       | Se mueven las ramas grandes de los árboles; silban los cables telegráficos; los paraguas se utilizan con dificultad |
| 7               | Viento fuerte         | 28 - 33                      | 13.9 - 17.1       | Todos los árboles se mueven es difícil caminar contra el viento.                                                    |
| 8               | Temporal              | 34 - 40                      | 17.2 - 20.7       | Se rompen las ramas delgadas de los árboles; generalmente no se puede andar contra el viento.                       |
| 9               | Temporal fuerte       | 41 - 47                      | 20.8 - 24.4       | Se producen pequeños daños los edificios, (se caen los sombreros de las chimeneas, las tejas de los techos, etc.)   |
| 10              | Temporal Violento     | 48 - 55                      | 24.5 - 28.4       | Se experimenta raramente en violento tierra adentro; se arrancan árboles; se producen considerables daños           |
| 11              | Temporal muy Violento | 56 - 63                      | 28.5 - 32.6       | Se experimenta muy raras veces; ocasiona daños generales por doquier.                                               |
| 12              | Huracan               | >64                          | 32.7 y más        |                                                                                                                     |

Escala Beaufort de fuerza del viento para informar viento de superficie.

Al tener los datos brutos las direcciones y las velocidades de cada hora lo que hemos hecho es hacer una media de todo el día y así obtener una media de dirección y de velocidad.

| Dirección (º)    | Peligro | Valor |
|------------------|---------|-------|
| 20,9 - 21,7      | Bajo    | 2     |
| Velocidad (Km/h) | Peligro | Valor |
| 8,7 - 11,5       | Bajo    | 2     |

Cartografiado del peligro de incendio forestal para la comarca de Tafalla (Navarra).



### 7.8. Humedad

La humedad atmosférica no sólo interviene en el proceso de pérdida de humedad en la vegetación viva a partir de la evapotranspiración, sino que también forma parte del proceso de absorción directa del vapor de agua en el caso de los combustibles muertos. Los combustibles muertos son higroscópicos, es decir, absorben o evaporan humedad del aire hasta conseguir el equilibrio con las condiciones ambientales presentes. Por tanto, las condiciones de humedad atmosférica dirigen este intercambio en una u otra dirección.

Por otro lado, la humedad atmosférica también influye en la disponibilidad de oxígeno para el proceso de combustión. A mayor humedad menor proporción de oxígeno en el ambiente, y por consiguiente más lento será el proceso de combustión.

Si el aire es seco, la combustión es más rápida, porque absorbe el vapor de agua desprendido por el combustible. Hemos escogido para el análisis la humedad en horas más calurosas que es sobre las 13:00h.

| Humedad | Mitigación | Valor |
|---------|------------|-------|
| 43      | Medio      | 3     |



### 7.9 Riesgo de Propagación

Cuando tenemos todos los raster que necesitamos y además reclasificados procedemos a realizar la operación correspondiente del riesgo de propagación:

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

Como en el caso de la ignición para este caso hemos tenido en cuenta ciertos valores como la dirección y velocidad del viento el cual consideramos como mucho más relevante la velocidad del viento, ya a la hora de una propagación más rápida y dificultar la extinción del incendio puede ser el factor más relevante en el viento. Así mismo para los puntos de recogida de agua se le ha dado un mayor peso a los embalses ya que las piscinas, pueden estar vacías y solo serán utilizadas en caso de extrema necesidad, además solo están llenas en épocas estivales.

La fórmula introducida en el programa será la siguiente:

$$PP = 5 * ["Combustibilidad"] + 4 * [{"Pendiente"} + (0,2 * {"Dirección del Viento"} + 0,8 * Velocidad del viento)) / 2] + 3 * [{"Orientación"} - [{"Altitud"}] - [{"Vías de comunicación"} + {"Hidrología"} + {"Cortafuegos"} + (0,8 * Embalses + 0,2 * {"Piscinas"}) + {"Parques de bomberos"}] - [Humedad].$$

Igual que en el caso de ignición. Realizamos operaciones sencillas de dos en dos para que no haya confusión alguna.

Cartografiado del peligro de incendio forestal para la comarca de Tafalla (Navarra).

## **8. Peligro de Incendio Forestal**

Finalmente tras haber realizado los dos mapas de riesgo de ignición y el de propagación, lo único que os queda es realizar el mapa final de peligro de incendio forestal.

Básicamente es una suma de los dos mapas anteriores, tendremos un mapa donde se verán las zonas más propensas a que ese fuego se origine y a su vez se expanda por la zona y ocasionen grandes daños.

Para la realización de esta operación hemos utilizado Raster calculator, en ArcGis, donde hemos introducido:

**Peligro de Incendio Forestal = Peligro de Riesgo de Ignición + Peligro de Riesgo de Propagación**

Cartografiado del peligro de incendio forestal para la comarca de Tafalla (Navarra).

## 9. Áreas afectadas por el incendio

Finalmente vamos a realizar un análisis más exhaustivo del resultado final con diferentes comparaciones. En todas las comparaciones nos centraremos solo en la zona del área quemada. Luego se procederá con el análisis numérico.

La primera comparación es entre las dos imágenes de satélite, antes y después del incendio, julio y septiembre del 2001. Para ello usaremos una combinación de bandas (banda 4 para el rojo, la banda 3 para el verde y la banda 2 para el azul) donde podremos apreciar mejor la vegetación perdida. Lo que vamos a encontrar con esta combinación es que las zonas con un color rojizo intenso son áreas de vegetación, en la imagen después del incendio se observa una mancha oscura.

La segunda comparación es a nivel de propagación. Se ve que la zona afectada del monte tiene un nivel alto de propagación por lo que tenía gran facilidad de que se quemara. Por otro lado, hay que añadir que todos los puntos de agua (piscinas) incluso un río importante, se encuentran cerca de la zona del incendio y por ello su propagación no fue muy extensa.

Como última comparación, si nos centramos en el mapa de peligro de incendio forestal, podemos observar que el foco del incendio pertenece a un nivel de peligrosidad medio-alto, por lo que es coherente el modelo final que indica que la zona del incendio tenía un riesgo importante.

En cuanto al análisis numérico se ha creado un polígono (*imagen 11*) el área quemada y con él se ha recortado la zona para conseguir el número de píxeles de cada tipo de peligro.

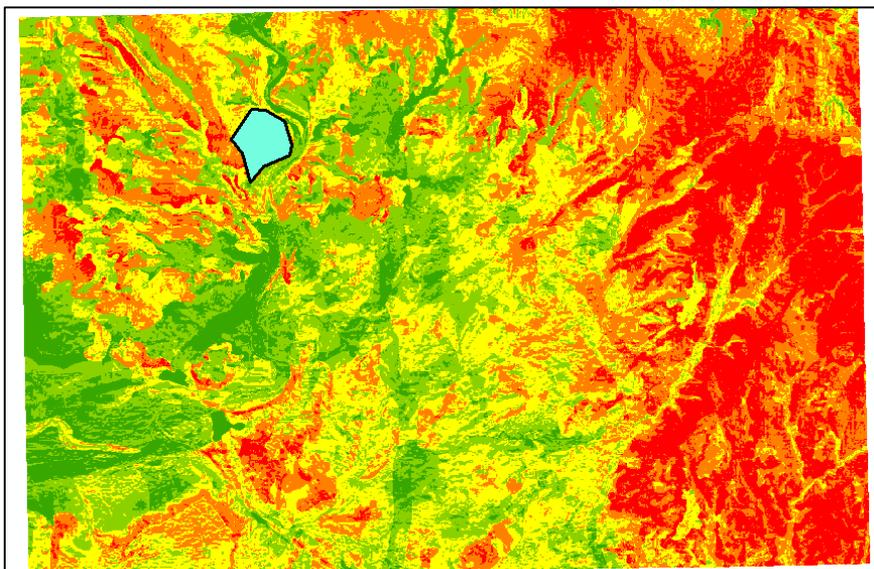
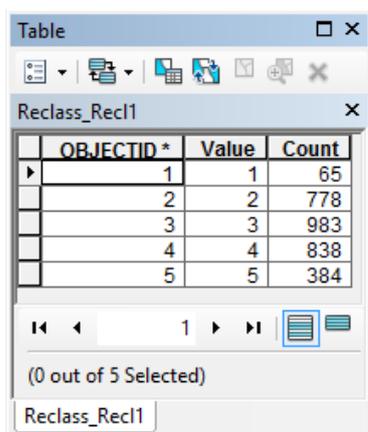


Imagen 11. Polígono de la zona de área quemada en mapa final de riesgo de incendio

A partir de éstos valores se sacan los siguientes porcentajes (tabla 12) de nivel de peligro de la zona de incendio.



The screenshot shows a software window titled 'Table' with a toolbar and a table named 'Reclass\_Recl1'. The table has three columns: 'OBJECTID\*', 'Value', and 'Count'. The data rows are as follows:

| OBJECTID* | Value | Count |
|-----------|-------|-------|
| 1         | 1     | 65    |
| 2         | 2     | 778   |
| 3         | 3     | 983   |
| 4         | 4     | 838   |
| 5         | 5     | 384   |

| Tipo de peligro | Porcentaje de peligro (%) |
|-----------------|---------------------------|
| Muy Bajo        | 2,13                      |
| Bajo            | 25,52                     |
| Medio           | 32,25                     |
| Alto            | 27,49                     |
| Muy Alto        | 12,60                     |

Tabla 12. Porcentajes de nivel de peligro de la zona quemada

Y así obtenemos el nivel de peligro que había en la zona quemada. Es un nivel en general bastante bajo en el que predomina un peligro medio con un 32,25 %, y le sigue un peligro alto con un 27,49%. En consecuencia, se podría decir que el origen del fuego pudo ser causado intencionadamente como ya creyeron en su día. Además la zona donde se originó es una zona donde existen muchos caminos y sendas y es posible llegar hasta casi cualquier del monte con relativa facilidad.

Cartografiado del peligro de incendio forestal para la comarca de Tafalla (Navarra).

Cartografiado del peligro de incendio forestal para la comarca de Tafalla (Navarra).

Cartografiado del peligro de incendio forestal para la comarca de Tafalla (Navarra).

## 10. Análisis y conclusiones finales

Para finalizar este trabajo vamos a realizar un breve análisis de la obtención de los datos, de la metodología escogida, de los resultados y de las conclusiones finales.

En primer lugar la obtención de los datos ha sido un trabajo laborioso ya que ha sido complicado que toda la información cuadre en las fechas señaladas que en este caso es el 29 de agosto del 2001.

Las imágenes Landsat están sacadas de la página USGS de los Estados Unidos, en las cuales, hay que tener en cuenta que existan imágenes con una fecha de antes y después del incendio y que acompañe un tiempo despejado sin nubosidad. La anterior al incendio corresponde a 2 meses antes del incendio y la imagen posterior a 20 días después del incendio.

Con la descarga de datos de la cartografía BTN25 del CNIG no hubo ningún problema. Son datos abiertos a todo el mundo y permite la descarga directa. Hay que puntualizar que debido a que la zona del incendio es en Navarra, se consultó la cartografía que ofrece IDENA ya que la comunidad foral tiene su propia infraestructura, pero al ver que la fecha era bastante antigua se optó por usar la cartografía BTN25. En el caso de que se hubiese necesitado una información cartográfica más reciente se usaría la proporcionada por IDENA. Esta cartografía la suministra la propia comunidad y cuando ya está procesada la cede al IGN.

Los datos climatológicos hubo que solicitarlos por correo electrónico a la AEMET. Un proceso bastante lento pero llegó sin ningún problema.

A continuación se analizan los resultados obtenidos en el mapa de riesgo de ignición; podemos observar que las zonas de mayor riesgo están centradas en las vías de comunicación y en los núcleos urbanos donde la presencia del ser humano está presente. A la variable del factor humano se le dio más importancia a la hora de asignar los pesos que a otras variables como las condiciones meteorológicas.

En el caso del mapa de riesgo de propagación obtenido, las variables que han adquirido más importancia son la topografía, meteorología y el combustible. Las zonas con mayor propagación se distribuyen a lo largo del mapa pero sobre todo en el foco del incendio donde existe un riesgo alto de propagación. Al contrario que en el mapa de ignición, las variables como son las vías de comunicación o la hidrología representan un riesgo bajo de propagación.

Cabe destacar que el resultado del riesgo de propagación y el de ignición no son inversos aunque el análisis realizado nos de esa impresión. Al comparar los dos mapas se puede observar que existen muchos puntos conflictivos comunes.

Analizando el resultado final del modelo de peligro de incendio obtenido, podemos observar que el factor humano sigue teniendo una gran relevancia, además a esto se le suma el problema de la propagación el cual extiende nuestras áreas de peligro en los núcleos urbanos. Por otro lado, la topografía y la climatología aumentan la peligrosidad en zonas forestales que, aunque no son los valores más altos, tienen un alto nivel de peligrosidad.

Con todo esto podemos concluir que este estudio define las zonas donde tendremos que implementar sistemas para mitigar el peligro de incendio. Estos pueden ser nuevos puntos de agua, parques de bomberos y campañas de concienciación en municipios con riesgo alto de incendio y poder así prevenir cualquier incidente de ignición. En el caso de las áreas forestales podríamos implementar algunos cortafuegos artificiales, mitigando así la posibilidad de propagación en caso de incendio.

Con respecto a posibles mejoras del modelo aplicado, la actualización de la cartografía es fundamental ya que se modificaron algunas capas como la hidrología donde aparecían algunas discontinuidades. De ese modo queda reflejado que la obsolescencia de la cartografía puede dar lugar a que medidas preventivas fundamentales, como son los cortafuegos, no se ajusten a la realidad.

Estos modelos de peligrosidad son mejorables pudiendo ser más exhaustivos y detallados cuantas más variables se tengan en cuenta. También sería conveniente reajustar la asignación de pesos a cada variable, en dependencia de la zona de estudio.

## **11. Agradecimientos**

Agradecer lo primero de todo a mi tutor Alfonso Fernández Sarría, que sabiendo mi situación me busco un trabajo apto para mí y lo mejor de todo buscar un tema que me motivara.

Muchas gracias a mi familia vitoriana, Los Toporatonos, todo esto empezó con vosotros y llega el final en otra ciudad pero no me olvido de vosotros. Os quiero.

Mi hermano, gracias por todo, ejemplo a seguir desde "txiki". Sé que siempre estarás ahí

Gracias a mis pilares, mis padres. Sin ellos, nada de esto hubiese sido posible, gracias por haber luchado tanto porque vuestros hijos sean ingenieros. Misión vuestra, orgullo nuestro. Os quiero muchísimo.

## 12. Referencias Bibliográficas

- ADRIAN JORDAN TABLADO.2010. Plan de Defensa Contra Incendios Forestales en el Parque Natural Serranía Alta de Cuenca.
- CHUVIECO, E. Y MARTÍN M.P.2004. Nuevas Tecnologías para la estimación del riesgo de incendios forestales. Consejo Superior de Investigaciones Científicas.
- COMUNIDAD FORAL DE NAVARRA. Plan de protección civil de emergencia de incendios forestales.
- GOBIERNO DE ESPAÑA. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Los incendios Forestales en España. Decenios 2001 – 2010.
- JOSE M. MORENO. Impacto sobre los riesgos naturales de origen climático. Riesgo de incendio forestal.
- Merche B. Bodí, Artemi Cerdà, Jorge Mataix-Solera, Stefan H. Doerr.2010. Efectos de los incendios forestales en la vegetación y el suelo en la cuenca mediterránea.

<http://earthexplorer.usgs.gov/>

<http://www.ign.es/ign/main/index.do>

<http://www.igme.es/>

<http://www.aemet.es/es/portada>

[http://www.navarra.es/home\\_es/Actualidad/Sala+de+prensa/Noticias/2004/08/02/0208pr99.htm](http://www.navarra.es/home_es/Actualidad/Sala+de+prensa/Noticias/2004/08/02/0208pr99.htm)

<http://noticias.interbusca.com/sociedad/sucesos/incendios.--el-incendio-en-el-monte-aurino-navarra-ha-calcinado-300-hectareas-de-las-que-295-eran-de-monte-bajo-20050815180741.html>

<http://www.lavanguardia.com/sucesos/20050816/51262813090/extinguido-el-incendio-que-ha-quemado-252-hectareas-en-navarra.html>

[http://www.navarra.es/home\\_es/Actualidad/Sala+de+prensa/Noticias/2004/08/17/1708pr88.htm](http://www.navarra.es/home_es/Actualidad/Sala+de+prensa/Noticias/2004/08/17/1708pr88.htm)

[http://www.navarra.es/home\\_es/Temas/Medio+Ambiente/Gestion+y+guarderio+forestal/Gestion+forestal/Incendios+forestales/](http://www.navarra.es/home_es/Temas/Medio+Ambiente/Gestion+y+guarderio+forestal/Gestion+forestal/Incendios+forestales/)

<http://www.proteccioncivil.es/catalogo/carpeta02/carpeta24/vademecum12/vdm010.htm#1009a>

[http://www.bomberosdenavarra.com/documentos/ficheros\\_documentos/forestal2.pdf](http://www.bomberosdenavarra.com/documentos/ficheros_documentos/forestal2.pdf)

[http://www.magrama.gob.es/es/cambio-climatico/temas/impactos-vulnerabilidad-y-adaptacion/12\\_3\\_riesgos\\_naturales\\_2\\_tcm7-12431.pdf](http://www.magrama.gob.es/es/cambio-climatico/temas/impactos-vulnerabilidad-y-adaptacion/12_3_riesgos_naturales_2_tcm7-12431.pdf)

<http://ojaizmet.blogspot.com.es/2012/03/meteorologia-e-incendios-forestales.html>

[http://www.magrama.gob.es/es/desarrollo-rural/estadisticas/INCENDIOS\\_FORESTALES\\_2001-2010\\_FINAL\\_mod.1\\_tcm7-349255.pdf](http://www.magrama.gob.es/es/desarrollo-rural/estadisticas/INCENDIOS_FORESTALES_2001-2010_FINAL_mod.1_tcm7-349255.pdf)

<https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/9526/Completo.pdf>

[http://oa.upm.es/15213/1/PFC\\_Carlos\\_Gavil%C3%A1n\\_Espejo.pdf](http://oa.upm.es/15213/1/PFC_Carlos_Gavil%C3%A1n_Espejo.pdf)

Cartografiado del peligro de incendio forestal para la comarca de Tafalla (Navarra).

<http://www.greenpeace.org/espana/Global/espana/report/other/incendios-forestales-que-per.pdf>

[http://www.bomberosmijas.com/archivos/fuego/fuego\\_07.pdf](http://www.bomberosmijas.com/archivos/fuego/fuego_07.pdf)

[http://www.bomberosdenavarra.com/documentos/ficheros\\_documentos/forestal2.pdf](http://www.bomberosdenavarra.com/documentos/ficheros_documentos/forestal2.pdf)

[http://www.navarra.es/NR/rdonlyres/317F1BD3-9B8F-4115-B178-D621D56F6E38/207619/INCENDIOS\\_FORESTALES.pdf](http://www.navarra.es/NR/rdonlyres/317F1BD3-9B8F-4115-B178-D621D56F6E38/207619/INCENDIOS_FORESTALES.pdf)

<http://info.igme.es/cartografia/datos/magna50/memorias/MMagna0207.pdf>