

PATRÓN DE DEPENDENCIA DE FACTORES FÍSICO-GEOGRÁFICOS EN LOS INCENDIOS FORESTALES EN CATALUÑA

SERGI ALVAREZ GUASCH¹, JOSÉ ÁNGEL BURRIEL MORENO²
Centro de Investigación Ecológica y Aplicaciones Forestales (CREAF)
Edificio C

Campus de Bellaterra (UAB)
08193 Cerdanyola del Vallés
Barcelona. España

¹SergiGuasch83@gmail.com, ²j.angel@creaf.uab.cat

RESUMEN

El objetivo de este trabajo es explorar las posibles relaciones entre algunos factores físico-geográficos y algunos de los incendios forestales producidos en Cataluña desde el año 1975 hasta el año 2010. Se estudian un total de 627 incendios en función de unos rangos de tamaños de acuerdo con el área que resulta quemada en este período de 36 años. Se estudiará también la relación entre las áreas quemadas de cubiertas vegetales y factores como la altitud, la orientación, el pendiente o la radiación solar. Los análisis efectuados denotan que la altitud es el único factor determinante, que puede condicionar el tamaño de la superficie quemada de los incendios forestales en Cataluña.

Palabras clave: incendios forestales, áreas quemadas, Cataluña, medidas, dependencia, altitud, orientación, pendiente, radiación solar.

PATTERNS OF DEPENDENCE OF GEOGRAPHICAL-PHYSICAL FACTORS IN THE FOREST FIRES IN CATALONIA

ABSTRACT

The aim of this paper is to explore possible relationships between physical and geographical factors and some of the forest fires in Catalonia from 1975 until 2010. There has been studied a total of 627 fires based on a range of sizes, according to the area that is burned in the time period of 36 years. It will be studied the relationship between the burned areas of land covers and factors such as altitude, orientation, slope or solar radiation. The analysis permormed indicates that the altitude is the determining factor that can condition the size of the burned area of forest fires in Catalonia.

Keywords: forest fires, burned areas, Catalonia, sizes, dependence, altitude, orientation, slope, solar radiation.

1. Introducción

Los incendios forestales se convierten en uno de los principales problemas ambientales de los ecosistemas terrestres en Cataluña. Este hecho implica la necesidad de abordar rigurosos estudios para establecer las causas de riesgo de incendio y permitir mejorar la gestión forestal preventiva.

Es pues, que el presente estudio se centra en las posibles relaciones entre los factores altitudinales, de orientaciones, de pendientes y de radiación solar, con los incendios ocurridos en Cataluña, en función de unos rangos de tamaños y de acuerdo con el área que resulta quemada, desde el año 1975 hasta el año 2010.

En consecuencia, debe permitir obtener datos relevantes acerca de la correlación existente entre los diferentes factores físico-geográficos y el porcentaje de superficie quemada, de modo que facilite el estudio de la planificación en la gestión preventiva de incendios, así como las posibles evoluciones y consecuencias en zonas afectadas o que potencialmente pueden verse afectadas por un incendio.

2. Estado de la cuestión o revisión bibliográfica

Este estudio, se ha optado por enfocarlo ampliando la información del artículo de GONZÁLEZ, J. Ramón i PUKKALA Timo, 2007 Characterization of forest fires in Catalonia (north-east Spain). Y se ha complementado considerando la radiación solar como un factor físico a tener en cuenta para observar alguna posible relación con el tamaño de la superficie quemada. Este factor se ha estudiado considerando que la posición del Sol (esencial para extraer un ráster de radiación solar) puede influenciar las condiciones climáticas y de vegetación, que como estudiaremos, se convierten en variables claves en ciertos factores físico-geográficos.

En un primer objetivo se ha abordado el estudio de frecuencias del número de incendios en función de la distribución de tamaños. A continuación, se han estudiado las frecuencias en valor absoluto del número de píxeles ocupados, ya sea por zonas quemadas, por zonas que potencialmente se pueden quemar, o por toda Cataluña. Esto se ha realizado mediante un determinado rango de valores en función de la altitud (cada 100 metros), de las orientaciones (en 9 categorías), del pendiente (cada 10 grados) y de las radiaciones (cada 100 KJ/m²/día).

Finalmente, se ha estudiado la correlación entre las áreas quemadas y las que potencialmente pueden quemarse, a partir del Mapa de Cubiertas del Suelo de Cataluña de la versión 1 (MCSC-1), y en función de los 3 MDT (Modelos Digitales del Terreno) y el ráster de radiación solar. De esta manera resolveremos si, mediante los estadísticos de las frecuencias obtenidas, estas serán o no significativas. En el caso de no ser significativas se establecerá una distribución de las frecuencias por tamaños en función de si las áreas quemadas de los incendios son menores a 50, 100, 250 o 500 hectáreas.

Con las aportaciones de estos objetivos y en su conjunto, se intentará resolver si existe un cierto patrón de dependencia que relacione los factores físico-geográficos mencionados con el área que resulta quemada, y si esta dependencia puede verse condicionada por el tamaño del área quemada resultante del incendio.

Paralelamente, y con la elaboración de este estudio, también se han podido determinar las recurrencias en los 36 años de periodo estudiado.

3. Materiales y métodos

Para llevar a cabo los diferentes análisis temporales y espaciales, se han seguido metodologías de trabajo para la confección y estudio de mapas y bases cartográficas a través de las herramientas e implementaciones del SIG-MiraMon (Pons, X. *et al.* 2011), así como para la obtención de estadísticos mediante las hojas de cálculo de Excel.

3.1. El caso de estudio

El estudio se ha centrado básicamente en la relación entre las áreas quemadas de cubiertas vegetales y factores como la altitud, la orientación, la pendiente o la radiación solar, de tal modo que permita averiguar si existe cierto grado de condicionamiento o influencia sobre los incendios forestales producidos en Cataluña durante el período escogido.

3.1.1. Ámbito de estudio

El estudio se ha realizado en Cataluña, que cubre una extensión de 32.000 km² con altitudes que varían desde el nivel del mar hasta los 3000 metros, con aproximadamente un 60% de cubiertas de bosques, matorrales y prados (González, Pukkala et al. 2007).

El clima mediterráneo (y la vegetación mediterránea) que predomina en toda Cataluña (a excepción del Valle de Arán), se caracteriza por el déficit hídrico de los meses de la estación más calurosa, haciendo aumentar la predisposición al riesgo de incendio.

3.1.2. Delimitación temporal

Se ha considerado un periodo reciente y actual (1975-2010), de tal modo que facilite estudiar la tendencia general actual en el número de incendios y tamaño del área quemada. Trabajar con datos más actuales permitirá, a su vez, deducir la eficacia de las mejoras en la gestión preventiva.

3.2. Los datos

Gracias a la información proporcionada por el Centro de Investigación Ecológica y Aplicaciones Forestales (CREAF), se han obtenido las bases cartográficas necesarias, en formato SIG-MiraMon.

A partir de las bases cartográficas del Instituto Cartográfico de Cataluña (ICC), se ha obtenido el MDE de 30 metros para el ámbito de toda Cataluña. A continuación, se ha procedido a la obtención del Modelo Digital de Orientaciones (MDO) y el Modelo Digital de Pendientes (MDP) mediante la herramienta de MiraMon de Interpolación y Análisis del Terreno para generar Pendientes u Orientaciones. En el caso de las orientaciones, se han aplicado 8 clases cardinales con una orientación plana en pendiente que sea inferior o igual a 0 °. Tanto para la obtención del MDO como del MDP, la interpolación se ha realizado con 8 vecinos.

Además de los 3 MDT, se ha usado el ráster de radiación solar del Atlas Climático de Cataluña (http://www.opengis.uab.cat/acdc/espanol/es_radiacio.htm). Este ráster informa de la

media anual de radiación solar real sobre Cataluña (se han utilizado estaciones con 4 o más años de datos en el periodo de 1980 a 1996 aproximadamente).

También han sido necesarias las bases estadísticas de la antigua web del Departamento de Medio Ambiente y Vivienda de la Generalitat de Cataluña (http://www20.gencat.cat/docs/dmah/Home/Ambits%20dactuacio/Medi%20natural/Prevencio%20dincendis/Dades%20dincendis/Estadistiques%20daltres%20anys/documents/pdf_catala/any.pdf).

Finalmente, también ha sido necesaria la obtención de una malla de puntos separados por un kilómetro, así como la capa ráster del mapa de cubiertas del año 1993 correspondiente al nivel 1 de la serie de mapas de cubiertas (mapa de cultivos y aprovechamientos o MCSC -1). Ambas proporcionadas por el CREA, son útiles para poder obtener muestras del MCSC o de incendios que permitan realizar análisis estadísticos o comparaciones estadísticas mediante la chi-cuadrado.

3.3. Análisis

- **Análisis del número y distribución por tamaño de los incendios**

Un primer objetivo ha consistido en la obtención de diferentes gráficos y estadísticos que permitan el análisis del número y la distribución por tamaño de los incendios por año, así como la superficie total quemada por año. También ha sido necesario trabajar las capas en función de dos grandes grupos, según si son del período de los años 1975 a 1985, o del período de los años 1986 a 2010. Esto se debe a que en el primer periodo (75-85) se estudiaron incendios superiores a las 30 ha, mientras que en el segundo periodo (86-10) el umbral utilizado es a partir de 10 ha.

A continuación, se ha generado un gráfico de barras para las series temporales del primer periodo (75 - 85) con incendios superiores a 30 ha, otro gráfico para el segundo periodo (86 - 10) con incendios superiores a 10 ha, y un tercer gráfico para el total de los incendios en todo el período de 36 años (75 - 10).

Posteriormente, se ha realizado una tabla con frecuencias para distribuir el número de incendios en función de diferentes rangos de tamaño (véase [tabla 1](#)¹). Se observa que en el caso del período 75-85, no hay incendios por debajo de las 30 hectáreas.

Paralelamente a la tabla anterior de frecuencias de tamaños, se ha elaborado una tabla para la obtención de la superficie total quemada por año (véase [tabla 2](#)). A partir de esta tabla se han corroborado los resultados obtenidos de las bases cartográficas con los resultados obtenidos en las bases estadísticas de la antigua web del Departamento de Medio Ambiente y Vivienda de la Generalitat de Cataluña. Las bases estadísticas oficiales corresponden sólo al período de 1986 a 2009, por lo que se ha podido hacer la comparación acotando la [tabla 2](#) al período mencionado (86-09).

- **Factores analizados que pueden influir en los incendios: altitud, orientación, pendiente y radiación solar**

El segundo gran apartado consiste en la elaboración de diferentes mapas, que mediante Modelos Digitales del Terreno, nos muestren estadísticamente una distribución por frecuencias de tamaños de las áreas quemadas en el conjunto de todos los años. De esta manera, se podrá deducir si

existe una cierta correlación para tamaños de áreas quemadas en función de la altitud, el pendiente o la orientación del terreno. Para este procedimiento pues, será necesaria la obtención de un Modelo Digital de Elevaciones (MDE) para toda Cataluña, y gracias a él la obtención del Modelo Digital de Orientaciones (MDO) y el Modelo Digital de Pendientes (MDP).

Una vez obtenidos estos tres modelos, se han recortado al marco específico de Cataluña, y se ha creado una máscara a partir de cada uno de los polígonos de los incendios para cada año. De este modo se han generado 36 máscaras, que sumadas han proporcionado una capa con el conjunto de los incendios, mostrando zonas que se han quemado reiteradamente (Felicísimo, A. M. *et al.* 1994) durante el período estudiado (véase [figura 1](#)).

Finalmente, con la reclasificación de la suma de máscaras anterior, se ha obtenido una máscara de todas las superficies quemadas durante el período de 1975 a 2010, que nos servirá para trabajar con los 3 MDT y estudiar así la correlación por tamaños de áreas quemadas en función de la altitud, la orientación y el pendiente del terreno.

En este sentido, se ha procedido a realizar un producto de capas con la calculadora de MiraMon. En concreto se han realizado 3 productos, es decir, se ha multiplicado la máscara obtenida, por cada uno de los MDT obtenidos con anterioridad. Los resultados obtenidos son un MDE, un MDO y un MDP ajustados al total de superficie quemada de todo el periodo estudiado (véase [figura 2, 3 y 4](#)).

Paralelamente, se ha ajustado el ráster de radiación solar al total de superficie quemada (véase [figura 5](#)).

- **Distribución de la superficie de las áreas quemadas, forestales y para toda Cataluña, en función de los MDT y la radiación solar**

El tercer gran apartado es la obtención de la distribución de la superficie en función de los diferentes factores de altitud, orientación, pendiente y radiación solar, cada uno ajustado al total de superficie quemada, como a la superficie forestal (o superficie que potencialmente puede quemarse). Se ha querido estudiar cómo está distribuida la superficie, en función de un determinado rango de intervalos: de altitudes para el MDE, de orientaciones para el MDO, de pendientes para el MDP y de KJ/m²/día para el de radiación solar.

La metodología empleada para obtener los diferentes gráficos de distribución, consiste en la utilización de la herramienta de MiraMon de procesamiento de imágenes "Histo", que permite generar histogramas fácilmente. Sin embargo, en primer lugar, hay que generar una máscara para el mar, que permita descartar la distribución de píxeles de 0 metros de altitud, de 0 ° de pendiente, o las zonas llanas del MDO que se asignan al mar por defecto. En el caso de la radiación solar no ha sido necesaria ninguna máscara dado que la descarga ya se obtiene con los límites bien definidos y sin valores en el mar (NODATA).

Así, se han generado los respectivos histogramas con la herramienta "Histo" que calcula la distribución del número de píxeles perteneciente a cada intervalo o categoría. En el caso del MDE, se ha asignado un valor máximo de 3099 metros, un valor mínimo de 0 metros y un intervalo de clases de 100 en 100 metros, en el caso del MDP, un valor máximo de 89 grados, un valor mínimo de 0 grados y un intervalo de clases de 10 en 10 grados, y en el caso del MDO, un valor máximo de 8 agrupaciones (N, NE, E, SE, S, SW, W, NW), un valor mínimo de 0 (zonas planas) y un intervalo de clases de categoría en categoría (1 en 1). En cuanto a la radiación solar, se ha asignado un valor máximo de 1799, un valor mínimo de 400 y un intervalo de clases de 100 en 100.

A continuación se ha procedido a generar los histogramas de los tres modelos y del ráster de radiación ajustados al total de la superficie quemada. Después se ha multiplicado cada uno de los rústers obtenidos con el fichero obtenido anteriormente de la suma de todas las superficies quemadas (véase [figura 1](#)) durante el período de 1975 a 2010. Con estos resultados se han generado 4 histogramas más (con valores máximos y mínimos ligeramente diferentes, en algunos casos, de los 4 primeros histogramas).

Finalmente, también se han generado cuatro histogramas para los modelos ajustados al total de la superficie forestal de Cataluña, es decir, la superficie que potencialmente puede ser quemada. En este sentido, se han reclasificado las categorías forestales en una única categoría y el resto se han considerado NODATA. El resultado serán los tres modelos digitales del terreno (altitud, orientación y pendiente) y la capa de radiación solar ajustados a la superficie forestal con los que podremos generar los últimos cuatro histogramas (con valores máximos y mínimos ligeramente diferentes en algunos casos).

A partir de estos histogramas se obtienen tablas DBF que sirven para calcular las correlaciones de los datos de superficie quemada con los que potencialmente pueden quemarse, en función de su distribución por altitud, orientación, pendiente y radiación solar.

- **Correlación entre áreas forestales y áreas quemadas**

El último gran apartado consiste en la obtención de unos estadísticos que nos permitan averiguar el grado de correlación existente entre las áreas de vegetación (potencialmente pueden quemarse) y las áreas quemadas de vegetación, ambas en función de la altitud, orientación, pendiente o radiación solar.

Para realizar este estudio, se han realizado varias combinaciones analíticas de capas con la herramienta "CombiCap" y una transferencia de atributos con la herramienta "ATRITOP". Primero es necesario cruzar una malla de puntos de un kilómetro, con la capa ráster del mapa de cubiertas del año 1993, mediante una combinación analítica de capas. El resultado es un archivo de puntos, donde aparece cada punto con la información de la cubierta a la que pertenecen.

A continuación, se ha realizado una transferencia de atributos con "ATRITOP" entre el archivo resultante anterior y las áreas quemadas de Cataluña en todo el período estudiado (75-10). La capa con el total de áreas quemadas debe ser diferente a la capa ráster obtenida de la suma reclasificada de los polígonos rasterizados (proceso explicado en el segundo apartado, véase [figura 1](#)). De esta manera, queda salvada la información para un mismo punto referente a las áreas que se han quemado varias veces en diferentes años. El resultado pues, será una capa vectorial de polígonos (obtenida a partir de la herramienta "Mosaico" de capas de MiraMon) con información acerca de la recurrencia de las áreas quemadas.

Así pues, se ha procedido a aplicar la herramienta "ATRITOP" con un nuevo fichero de puntos como resultado. Estos puntos informan no sólo de la cubierta a la que pertenecen, sino también de si se trata o no de una zona quemada. Y, gracias a guardar la información para un mismo punto (manteniendo un multiregistro), informa de si se ha quemado reiteradamente.

Esta nueva capa de puntos se cruza con cada uno de los MDT y el mapa de radiación, mediante 4 nuevas "CombiCap". El resultado de cada combinación, es un archivo de puntos, que además de la información anterior, también proporciona la respectiva información altimétrica, de orientaciones, de pendientes o de radiación.

A partir de aquí, se ha procedido a la obtención, por un lado, de los puntos que aporten información de las áreas vegetales (o áreas que potencialmente pueden quemarse) en función de su altitud, orientación, pendiente o radiación, y por otro lado, de los puntos que aporten información exclusiva de las áreas vegetales quemadas en función de la altitud, orientación, pendiente o radiación. De esta manera se han realizado 8 sentencias SQL (Kline, K. *et al.* 2004, Microsoft Corporation, ODBC *et al.* 2011), a través del GestBD, sobre la tabla DBF asociada a cada uno de los archivos de puntos obtenidos.

En la consulta se han recogido los puntos que coinciden con la superficie forestal (según las categorías del MCSC-1²), siendo representativos de la superficie que potencialmente puede quemarse.

El resultado de estas 8 consultas, son 8 tablas DBF con 2 únicos campos, un campo con los puntos que coinciden con la superficie forestal, y el otro con la variable de altitud, orientación, pendiente o radiación solar que le corresponde. A continuación se extrae una distribución de frecuencias según cada variable, que permitan realizar la prueba del chi cuadrado y averiguar si hay diferencias significativas o no entre las frecuencias observadas (las áreas forestales quemadas) y las frecuencias esperadas (áreas forestales que potencialmente pueden quemarse).

Este mismo procedimiento se ha realizado para obtener una distribución de las frecuencias por tamaños (en función de si las áreas quemadas de los incendios son menores a 500, 250, 100 o 50 hectáreas) y averiguar así, si existe una influencia del factor tamaño en los diferentes factores físico-geográficos (Moreira, F., Catry, F. X., Rego, F., Bacao, F. *et al.* 2009). De este modo, se observa como las orientaciones, la pendiente y la radiación solar no muestran valores significativos en las respectivas pruebas de chi cuadrado. A partir de aquí, cabe esperar que el factor tamaño no esté condicionado por ninguno de estos factores físico-geográficos, aunque por otro lado, puedan existir ciertos condicionamientos de factores climáticos de viento, humedad..., especialmente en los grandes incendios.

En este sentido, la única diferencia ha sido la obtención previa de las 4 capas vectoriales de los polígonos correspondientes, en función de las diferentes medidas mencionadas. De esta manera, se han realizado 4 selecciones por atributos (<500, <250, <100, <50ha) y se han guardado como vectores estructurados. Posteriormente se han realizado las correspondientes transferencias de atributos con la herramienta *ATRITOP* entre las 4 capas de polígonos obtenidas en el paso anterior, y la combinación de capas ya utilizada (cruzando la malla de 1km con el MCSC-1), donde se ha pedido de salida la obtención de una malla de puntos. A continuación, se han realizado 4 combinaciones analíticas entre cada una de las 4 capas de puntos obtenidas en las transferencias de atributos, y el MDO, el MDP y el ráster de radiación solar. El resultado son por lo tanto, 12 nuevas capas de puntos, 4 capas en función del tamaño para el MDO, el MDP y el ráster de radiación solar. Acto seguido, a partir de las DBF asociadas a cada una de las 12 capas obtenidas se han realizado las pertinentes consultas SQL (Kline, K. *et al.* 2004, Microsoft Corporation, ODBC *et al.* 2011), similares a las anteriores, para la obtención de 12 tablas que aporten información de las áreas vegetales quemadas en función de la orientación, pendiente o radiación, y en función de los tamaños de superficie establecidos. De estas tablas se extrae la correlación existente con las correspondientes tablas con información de las áreas vegetales (o áreas que potencialmente pueden quemarse).

Finalmente, y como se ha hecho antes, se extrae una distribución de frecuencias según cada variable (orientación, pendiente y radiación) y en función del tamaño de superficie. Así pues, es posible realizar la prueba del chi cuadrado para averiguar si hay diferencias significativas o no entre las frecuencias observadas (las áreas forestales quemadas) y las frecuencias esperadas (áreas

forestales que potencialmente pueden quemarse), para el MDO, MDP y la radiación, en función de los 4 tamaños de superficie estipulados.

4. Descripción y análisis de resultados

En primer lugar, con la [tabla 2](#) se ha generado un gráfico (véase [figura 12](#)) de la superficie anual quemada en Cataluña de todo el periodo estudiado (75-10), donde destacan los años 1994, 1986, 1998 y 1978 como los años donde se ha quemado más superficie forestal (independientemente del número de incendios).

En general, se puede observar que en la última década (2000-2010), probablemente gracias a las actuaciones y actuales medidas preventivas en la gestión forestal, se ha reducido a más de la mitad el total de superficie quemada respecto a las décadas anteriores (1980-1990, y 1990-2000). Cabe destacar que esta reducción también puede atribuirse a la ausencia de condiciones tan extremas como las producidas en los años 1994 o 1998 (especialmente, las de los días de los grandes incendios), facilitando que no se reproduzcan situaciones similares.

Otro de los estudios a destacar, es el realizado a partir de la [tabla 1](#), donde se generan 6 gráficos (véase [figura 6 a 11](#)) que muestran el número de incendios en función de su tamaño en hectáreas. En el primer período (1975-1985, véase [figura 6](#)), se puede observar como en el intervalo de 30 a 50 ha, el mayor número de incendios ocurren entre las 35 y 40 ha, pero si se analiza en su conjunto, es decir, teniendo en cuenta las áreas quemadas superiores a 30 ha (véase [figura 9](#)), encontramos que las áreas quemadas con un tamaño aproximado de 50 a 100 ha son los que presentan un mayor número de incendios. En este caso, esto, básicamente, es debido a que el área quemada de los incendios con tamaño inferior a 50 ha, ha sido cartografiada a partir del umbral de las 30 ha, desestimando así, todos los incendios más pequeños. Por tanto, el número de incendios con áreas quemadas inferiores a las 30 ha sucedidos en este primer período, no se estudiaron. Así posiblemente, y viendo la tendencia de los otros dos casos explicados a continuación, se deduce que los incendios con áreas quemadas inferiores a 50 ha son los más numerosos.

En el segundo caso referente al periodo 1986-2010, se observa que en conjunto (véase [figura 10](#)), los incendios con áreas quemadas inferiores a 50 ha son los más numerosos. Por otra parte, dentro del subgrupo de áreas inferiores a 50 ha (véase [figura 7](#)), el mayor número de incendios se sitúa en áreas quemadas con un tamaño aproximado de unos 15 a 20 ha.

Finalmente, teniendo en cuenta el tercer caso que estudia el total del periodo (1975-2010) (véase [figura 11](#)), se puede observar la misma tendencia que en el caso del periodo más reciente, es decir, que el mayor número de incendios, corresponde a las áreas quemadas con un tamaño inferior a 50 ha. No obstante, tal y como se observa en el gráfico con áreas quemadas inferiores a 50 ha (véase [figura 8](#)), no es posible deducir una tendencia clara.

De estos resultados se deduce que la tendencia general es que el número de incendios disminuye a medida que aumenta el tamaño del área que resulta quemada, siendo las áreas más pequeñas de 50 ha, las más numerosas. Esta tendencia general, se puede observar en la progresiva disminución de la distribución por frecuencias de la [figura 11](#).

Un resultado que se ha obtenido paralelamente en la elaboración del estudio de las correlaciones de los factores físico-geográficos, es el mapa de recurrencias (véase [figura 1](#)). De éste podemos destacar que las principales zonas que se han quemado reiteradamente a lo largo del periodo estudiado (1976-2010), son las correspondientes al Cap de Creus, el Garraf y el Baix Camp.

Este hecho, principalmente es debido por ser zonas donde predominan diferentes factores de riesgo, tanto en lo referente a la facilidad de las igniciones (zonas costeras donde la densidad de población es elevada), como por las características de la vegetación más propensa a sufrir incendios, así como la dificultad en la extinción de los pequeños incendios por los fuertes vientos que caracterizan estas zonas.

A continuación, y siguiendo los análisis, se estudian los doce histogramas (véase [figura 13 a 24](#)) obtenidos con la herramienta "Histo", que muestran las distribuciones de la superficie en función de la altitud, la orientación, el pendiente o la radiación.

En la distribución por altitudes se puede observar como la mayor superficie quemada (véase [figura 14](#)) se sitúa en el intervalo de 400 a 500 y de 500 a 600 metros de altitud. En este sentido, destaca que aproximadamente a partir de los 1000 metros, ya no se observa una presencia importante porcentaje de superficies quemadas. Además, a partir de los 2400 metros ya no se detectan áreas quemadas. Si se observa la distribución de la superficie potencial (véase [figura 15](#)), es decir, la superficie donde pueden producirse incendios forestales, los intervalos de 500 a 600 metros y de 600 a 700 metros, es donde existe más superficie potencial de ser quemada. También se constata que a diferencia del histograma de superficies quemadas, en el histograma de superficies forestales que potencialmente pueden quemarse disminuye progresivamente el porcentaje de la superficie forestal a medida que aumenta la altura (similar a la distribución general de superficie para todo Cataluña (véase [figura 13](#))), mientras que la disminución en altura de superficies quemadas es mucho más drástica y acusada. Este efecto, principalmente, se debe a las condiciones climáticas y de vegetación, poco propicias a fuegos, dado que en altitudes más elevadas la vegetación está bien hidratada, resistiendo mejor el fuego (Burriel *et al.* 2005).

En la distribución de superficies por orientaciones se observa que la mayor superficie quemada (véase [figura 17](#)) se define en orientación Sur (Sureste y Suroeste). Lo mismo sucede en la distribución forestal (véase [figura 18](#)), sin embargo, también se observa una alta proporción de las superficies orientadas al Norte. Por lo tanto, de estos resultados, se extrae que la mayor probabilidad de que aparezcan incendios forestales en Cataluña es en las vertientes orientadas al Sur. Esto, coincide con que la mayor parte de la superficie de Cataluña está orientada también al Sur (véase [figura 16](#)), dado que geomorfológicamente la mayor parte del territorio catalán se define por cordilleras transversales (que propician vertientes orientadas tanto al Norte como al Sur) que predominan sobre las longitudinales (que propician vertientes orientadas tanto al Este como al Oeste).

En la distribución de superficies por pendientes, el intervalo de 10 a 20 grados es el que contiene la mayor superficie quemada (véase [figura 20](#)), el mismo intervalo que en la superficie potencial (véase [figura 21](#)). En este sentido destacan dos aspectos, el primero es que en general, la superficie de Cataluña (véase [figura 19](#)) se distribuye en el intervalo de 0 a 10 grados, mientras que la superficie forestal y la quemada lo hacen en el de 10 a 20 grados. Esto posiblemente es debido al impacto de la actividad humana sobre el territorio, sobre las cubiertas del suelo. De modo que, dado que el hombre se asienta en los terrenos más suaves posibles, le permite desarrollar actividades (cultivos) con un menor esfuerzo que en zonas de más pendiente. Por ello, encontramos que hay más superficie de zonas forestales que se sitúa en pendientes más elevadas (véase [figura 21](#)). El otro aspecto destacable, es que proporcionalmente, la diferencia entre el pendiente de 10 a 20 grados y el de 0 a 10 grados en las superficies quemadas (véase [figura 20](#)), no es tan acentuado como la misma diferencia en las superficies forestales (véase [figura 21](#)). Esto es debido, tal y como nos argumenta Burriel *et al.* (2005), a que las pendientes más elevadas las encontramos en zonas montañosas,

donde se sitúan las áreas climáticas poco propicias a los incendios (como son los casos del Pirineo, Prepirineo o Montseny). Así, como en el caso de las altitudes, las condiciones climáticas y de vegetación son consideradas como un factor clave en el origen de muchos incendios. Además, cabe destacar que la presencia humana se concentra en pendientes más suaves (pendientes cercanas a los 0 °), lo que conlleva una reducción de la superficie forestal por la propia presencia humana, así como una mayor y mejor accesibilidad a las zonas incendiadas y a los equipamientos para la extinción, dado que la dificultad de acceder a extinguir un incendio en pendientes abruptas es más alta (Badia, A., Serra, P., Modugno, S. *et al.* 2011).

Finalmente, se observa que en la distribución de la superficie en función de la radiación solar (tanto la mayor superficie quemada (véase [figura 23](#)), como la mayor superficie forestal (véase [figura 24](#))), se sitúa en el intervalo de 1400 a 1500 KJ/m²/día. Esta misma distribución, también es muy parecida a la distribución general por superficie en toda Cataluña (véase [figura 22](#)). En este caso, los 3 histogramas son muy proporcionales entre ellos. Esto puede evidenciar que la correlación entre áreas potenciales y áreas quemadas en función de este factor físico, no sea muy significativa.

Se ha calculado la prueba del chi cuadrado para establecer si existe influencia entre la superficie forestal quemada y los factores de altitud, orientación, pendiente³ y radiación.

Las [tablas 3 a 6](#) ofrecen unos resultados donde destaca la R² obtenida en la correlación de frecuencias para alturas, dado que es la única claramente significativa (p-value <0.05). Es decir, que las frecuencias por alturas en áreas quemadas (frecuencias observadas), son bastante diferentes de las frecuencias para alturas en áreas potenciales (frecuencias esperadas). De esta manera, cabría esperar que la altitud sea un factor que influya en la superficie quemada. Así, como hemos comentado anteriormente, las condiciones climáticas y de vegetación son variables esenciales para que la altitud pueda ser considerada como factor condicionante de la cantidad de superficie quemada.

Por otra parte, las correlaciones estimadas para las orientaciones denotan claramente que las frecuencias observadas y esperadas son prácticamente idénticas, con una probabilidad muy cercana a 1 (siendo por tanto una cifra no significativa). El caso de la radiación también resulta un valor no significativo, en cambio la pendiente muestra una probabilidad (0.10) muy cercana al umbral de significación p-value (0.05), pero también se ha considerado que no es significativa.

Así pues, tal y como se apunta en el apartado de métodos, teniendo en cuenta que las orientaciones, la pendiente y la radiación solar no muestran valores significativos, se ha optado por establecer una distribución de las frecuencias por tamaños en función de si las áreas quemadas de los incendios son menores a 500, 250, 100 o 50 hectáreas, y así averiguar si influye o no el tamaño del incendio en los diferentes factores físico-geográficos.

Las [tablas 7 a 10](#) muestran que las correlaciones de frecuencias para orientaciones en función del tamaño son, en todos los casos, valores no significativos. Sin embargo, a diferencia de los cálculos obtenidos sin definir ningún umbral de tamaños (véase [tabla 4](#)), sus valores no son tan cercanos a 1. Así, después de todos estos análisis, se constata que el factor de orientaciones no permite considerar una posible relación de las orientaciones con el tamaño de la superficie quemada⁴.

De las correlaciones de frecuencias para pendientes en función del tamaño que se muestran en las [tablas 11 a 15](#), destaca que (pese a que, en todos los casos, los valores obtenidos no son

significativos), a medida que se incrementa el tamaño de las áreas quemadas, la probabilidad va disminuyendo. Sin embargo, ni estos resultados, ni el resultado general para todos los tamaños de áreas quemadas (véase [tabla 5](#)) (el más cercano a ser significativo (0.10)), permiten constatar que este factor pueda devenir como condicionante del tamaño de la superficie quemada.

Finalmente, las [tablas 15 a 18](#) muestran que los valores obtenidos en las correlaciones de frecuencias por radiación solar en función del tamaño, no son significativos. Estos valores, a diferencia del resultado obtenido para todos los tamaños de áreas quemadas (véase [tabla 6](#)), son muy cercanos a 1. Ello conlleva que las frecuencias observadas y esperadas sean prácticamente idénticas. Por tanto, este factor, tampoco puede ser considerado como condicionante del tamaño de la superficie quemada.

5. Discusión y conclusiones

Tal y como han descrito en su artículo González y Pukkala, y teniendo en cuenta que el presente estudio se ha realizado con un período distinto (1976 a 2010) al de estos autores, se constata que en la última década (2000-2010) se ha reducido a más de la mitad el total de superficie quemada, con respecto a las décadas anteriores (1980-1990, y 1990-2000).

Además, se observa como tendencia general, que los incendios más frecuentes son los de menor tamaño. De hecho, tal y como también encontramos en el estudio mencionado, los incendios con áreas inferiores a 50 ha son los más numerosos,

Paralelamente, se ha podido actualizar la distribución del número de incendios en función de su tamaño hasta el 2010, dado que el periodo estudiado por estos autores es de 1942 a 2002.

Como aportaciones destacadas señalamos el estudio de la distribución de las superficies (potenciales y quemadas) para observar la tendencia que recogen en función de la altitud, la orientación, la pendiente o la radiación solar. En este sentido, se ha determinado que la disminución en altura en superficies quemadas, es más acentuada que en las potenciales. De este modo, como explica Burriel *et al.* (2005), una de las posibles explicaciones es que esto sea debido a las condiciones climáticas y de vegetación poco propicias a los fuegos en altitudes más elevadas, ya que la vegetación está bien hidratada y es más difícil su ignición.

En el caso de las orientaciones se ha podido observar que las laderas encaradas al Sur son las predominantes, en cuanto a superficie quemada. Este hecho, probablemente, es consecuencia de la distribución geomorfológica del territorio catalán (predominante en el Sur), aunque estadísticamente no parece significativo.

Al estudiar la pendiente, es destacable que el intervalo de 10 a 20° es donde se han producido el mayor número de áreas quemadas, dado que en las pendientes inferiores prevalece la actividad humana (más cultivos, zonas urbanas, vías de comunicación...). Paralelamente a esto, se deduce que la mayoría de las pendientes situadas en intervalos mayores a 20°, las encontramos en zonas montañosas, donde se sitúan las áreas climáticas menos propicias a los incendios (la vegetación está mejor hidratada).

En cuanto a la radiación solar, se ha determinado que mayoritariamente se sitúa en el intervalo de 1400 a 1500 KJ/m²/día.

Finalmente, se ha estudiado la distribución de frecuencias en función de la altitud, orientación, pendiente y radiación solar, y en relación al tamaño de superficie estipulados, es decir, si las áreas quemadas de los incendios son menores a 500, 250, 100 o 50 hectáreas.

En el caso de las orientaciones o la radiación solar, se han obtenido valores no significativos, que denotan que no son factores condicionantes del tamaño de la superficie quemada. En cuanto a la pendiente, aunque tampoco se ha considerado condicionante, se ha constatado que en función del tamaño de las superficies quemadas, la correlación indica que, a medida que se incrementa el tamaño de las áreas quemadas, los valores obtenidos son cada vez más cercanos a ser significativos, hasta ajustarse a un posible umbral *p-value* de 0.10. Este resultado es diferente del que encontraron Burriel *et al.* (2005) donde la pendiente era más significativa, con una *p-value* de 0.07, aunque el período estudiado era menor: 1986 a 2003.

Como resumen más destacable es que el factor de altitud es un factor determinante, susceptible de influir en el tamaño de la superficie quemada.

En definitiva, podremos asegurar con más del 95% de confianza, que la distribución de las superficies quemadas en función de la altitud, es significativamente diferente de la distribución de las superficies con vegetación forestal en función de la altitud.

Después de todos los análisis, es concluyente que, según los datos testados, el fuego de los incendios forestales en Cataluña está condicionado por la altitud.

Paralelamente a estos estudios, también se ha elaborado un mapa de recurrencias actualizado hasta el 2010, dentro del periodo estudiado de 36 años (1975-2010).

Finalmente, señalar que algunas de las futuras líneas de investigación a trabajar pueden llevarse a cabo mediante ciertas variables físicas, cómo la temperatura, o variables como el NDVI (*Índice de Vegetación Diferencial Normalizada*). De este modo, será posible estimar la influencia y condicionamiento de estas otras variables sobre los incendios forestales y así contrastarlas con las variables ya utilizadas. Además, se sugiere trabajar con nuevos ámbitos de estudio o escalas, las mismas variables físico-geográficas utilizadas en este estudio. Esto permitirá contrastar y corroborar los distintos resultados, así como contemplar el estudio de posibles patrones que faciliten una mejor gestión forestal preventiva.

Referencias bibliográficas

- BADIA, A., SERRA, P., MODUGNO, S. (2011): "Identifying dynamics of fire ignition probabilities in two representative Mediterranean wildland-urban interface areas". *Applied Geography*, 31. 930-940 pp.
- BURRIEL, J.A., MATA, T., IBÀÑEZ, J.J. (2005): *Millora del Mapa diari de risc d'incendi forestal*. Informe tècnic pel servei de prevenció d'incendis forestals de la Generalitat de Catalunya. (Inèdit).
- FELICÍSIMO, A. M. (1994): *Modelos Digitales del Terreno. Introducción y aplicaciones en las ciencias ambientales*. Oviedo. [Consulta: 21-06-2011]. Disponible en

<http://www.etsimo.uniovi.es/~feli/pdf/libromdt.pdf>

GONZÁLEZ, J. R., PUKKALA T. (2007): *Characterization of forest fires in Catalonia (north-east Spain)*. Eur J Forest Res. 126: 421-429 pp.

KLINE, K. (2004): *SQL in a Nutshell: a Desktop Quick Reference*. Chambersburg, Pennsylvania, O'Reilly & Associates Inc, 710 pp.

Microsoft Corporation, (2011): *Sistema Microsoft Open Database Connectivity (ODBC)* [online]. [Consulta: 19-07-2011]. Disponible en

[http://msdn.microsoft.com/en-us/library/ms710252\(VS.85\).aspx](http://msdn.microsoft.com/en-us/library/ms710252(VS.85).aspx)

MOREIRA, F., CATRY, F. X., REGO, F., BACAO, F. (2009): "Size-dependent pattern of wildfire ignitions in Portugal: when do ignitions turn into big fires?" *Research article. Landscape Ecol* (2010). 25:1405–1417 pp.

PONS, X., (2011): *MiraMon®. Geographic Information System and Remote Sensing software*. Bellaterra, CREA. ISBN: 84-931323-5-7.

TABLAS

Tabla 1. Número de incendios en función de su tamaño en hectáreas y periodo considerado

	Período		
	1975-1985	1986-2010	1975-2010
Tamaño (ha)	Número de incendios		
<5		1	2
5—10		7	7
10—15		28	28
15—20		31	31
20—25		21	21
25—30		21	21
30—35	9	17	25
35—40	11	9	20
40—45	6	17	23
45—50	6	3	9
<50	32	155	187
50—100	68	66	134
100—150	27	41	68
150—200	9	27	36
200—250	16	13	29
250—300	7	15	22
300—350	4	11	15
350—400	3	10	13
400—450	3	8	11
450—500	3	4	7
500—600	2	6	8
600—700	7	7	14
700—800	6	2	8
800—900	4	5	9
900—1000	1	5	6
1000—1250	4	8	12
1250—1500	3	5	8
1500—1750	3	1	4
1750—2000	2	2	4
2000—2500	2	3	5
2500—3000	1	2	3
3000—4000	4	3	7
4000—5000	1	5	6
5000—10000	2	5	7
10000--20000	1	1	2
20000--40000	0	2	2

Fte. Elaboración propia a partir de bases cartográficas. Centro de Investigación Ecológica y Aplicaciones Forestales (CREAF).

Tabla 2. Superficie anual quemada en hectáreas.

Año	Tamaño (ha)
1975	127.80
1976	2637.00
1977	5911.56
1978	17068.32
1979	7720.20
1980	8520.48
1981	8681.04
1982	10862.28
1983	12598.20
1984	11406.96
1985	13400.64
1986	51745.61
1987	1156.47
1988	2149.47
1989	4574.29
1990	226.07
1991	924.93
1992	4724.55
1993	8646.72
1994	83986.26
1995	6702.27
1996	529.33
1997	391.90
1998	26099.71
1999	818.39
2000	7863.70
2001	2857.75
2002	1140.25
2003	11409.50
2004	865.62
2005	4897.52
2006	3776.48
2007	1536.99
2008	397.88
2009	7733.93
2010	553.56

Fte. Elaboración propia a partir de bases cartográficas. Centro de Investigación Ecológica y Aplicaciones Forestales (CREAF).

Tabla 3. Relación de las áreas forestales quemadas con la altitud.

INTERVALOS (metros)	FrecObservadas	%	INTERVALOS (metros)	FrecEsperadas	%
0-250	275	18.85	0-250	2446	14.29
250-500	513	35.16	250-500	3351	19.58
500-750	569	39.00	500-750	3625	21.18
750-1000	86	5.89	750-1000	2315	13.53
1000-1250	3	0.21	1000-1250	1539	8.99
1250-1500	5	0.34	1250-1500	1137	6.64
1500-1750	6	0.41	1500-1750	903	5.28
1750-2000	2	0.14	1750-2000	758	4.43
2000-2250	0	0.00	2000-2250	569	3.32
2250-2500	0	0.00	2250-2500	349	2.04
2500-2750	0	0.00	2500-2750	113	0.66
2750-3000	0	0.00	2750-3000	11	0.06
Total	1459	100	Total	17116	100

CHI CUADRADO

3.24305E-09

Fte. Elaboración propia a partir de bases cartográficas. Centro de Investigación Ecológica y Aplicaciones Forestales (CREAF).

Tabla 4. Relación de las áreas forestales quemadas con las orientaciones.

INTERVALOS	FrecObservadas	%	INTERVALOS	FrecEsperadas	%
Zonas Llanas	1	0.07	Zonas Llanas	11	0.06
N	163	11.16	N	2088	12.20
NE	169	11.58	NE	2053	11.99
E	176	12.05	E	1955	11.42
SE	170	11.64	SE	2124	12.41
S	210	14.38	S	2404	14.04
SW	201	13.77	SW	2289	13.37
W	198	13.56	W	2130	12.44
NW	172	11.78	NW	2066	12.07
Total	1460	100	Total	17120	100

CHI CUADRADO

0.999978204

Fte. Elaboración propia a partir de bases cartográficas. Centro de Investigación Ecológica y Aplicaciones Forestales (CREAF).

Tabla 5. Relación de las áreas forestales quemadas con la pendiente.

INTERVALOS (grados)	FrecObservadas	%	INTERVALOS (grados)	FrecEsperadas	%
0-10	331	22.69	0-10	3245	18.96
10-20	633	43.39	10-20	6047	35.34
20-30	394	27.00	20-30	5203	30.41
30-40	88	6.03	30-40	2126	12.42
>40	13	0.89	>40	491	2.87
Total	1459	100	Total	17112	100
			CHI CUADRADO		
			0.107485607		

Fte. Elaboración propia a partir de bases cartográficas. Centro de Investigación Ecológica y Aplicaciones Forestales (CREAF).

Tabla 6. Relación de las áreas forestales quemadas con la radiación solar.

INTERVALOS (KJ/m²/día)	FrecObservadas	%	INTERVALOS (KJ/m²/día)	FrecEsperadas	%
<700	0	0.00	<700	5	0.03
700-800	1	0.07	700-800	18	0.11
800-900	2	0.14	800-900	93	0.54
900-1000	4	0.27	900-1000	303	1.77
1000-1100	19	1.30	1000-1100	511	2.98
1100-1200	50	3.42	1100-1200	1104	6.45
1200-1300	143	9.79	1200-1300	2111	12.33
1300-1400	380	26.03	1300-1400	3971	23.20
1400-1500	563	38.56	1400-1500	4811	28.10
1500-1600	261	17.88	1500-1600	3093	18.07
1600-1700	37	2.53	1600-1700	1074	6.27
>1700	0	0.00	>1700	26	0.15
Total	1460	100.00	Total	17120	100.00
			CHI CUADRADO		
			0.433185834		

Fte. Elaboración propia a partir de bases cartográficas. Centro de Investigación Ecológica y Aplicaciones Forestales (CREAF).

Tabla 7. Relación de las áreas forestales quemadas inferiores a 500 hectáreas con las orientaciones.

INTERVALOS	FrecObservadas	%	INTERVALOS	FrecEsperadas	%
Zonas Llanas	1	0.22	Zonas Llanas	11	0.06
N	54	11.71	N	2086	12.19
NE	47	10.20	NE	2053	12.00
E	59	12.80	E	1953	11.41
SE	49	10.63	SE	2123	12.41
S	67	14.53	S	2404	14.05
SW	57	12.36	SW	2286	13.36
W	60	13.02	W	2130	12.45
NW	67	14.53	NW	2065	12.07
Total	461	100	Total	17111	100
			CHI CUADRADO		
			0.98897561		

Fte. Elaboración propia a partir de bases cartográficas. Centro de Investigación Ecológica y Aplicaciones Forestales (CREAF).

Tabla 8. Relación de las áreas forestales quemadas inferiores a 250 hectáreas con las orientaciones.

INTERVALOS	FrecObservadas	%	INTERVALOS	FrecEsperadas	%
Zonas Llanas	1	0.29	Zonas Llanas	11	0.06
N	41	11.75	N	2085	12.19
NE	34	9.74	NE	2052	12.00
E	43	12.32	E	1952	11.41
SE	35	10.03	SE	2122	12.41
S	52	14.90	S	2404	14.05
SW	45	12.89	SW	2286	13.36
W	45	12.89	W	2129	12.45
NW	53	15.19	NW	2064	12.07
Total	349	100	Total	17105	100
			CHI CUADRADO		
			0.955624641		

Fte. Elaboración propia a partir de bases cartográficas. Centro de Investigación Ecológica y Aplicaciones Forestales (CREAF).

Tabla 9. Relación de las áreas forestales quemadas inferiores a 100 hectáreas con las orientaciones.

INTERVALOS	FrecObservadas	%	INTERVALOS	FrecEsperadas	%
Zonas Llanas	0	0.00	Zonas Llanas	11	0.06
N	25	11.16	N	2085	12.20
NE	27	12.05	NE	2052	12.00
E	34	15.18	E	1950	11.41
SE	20	8.93	SE	2121	12.41
S	30	13.39	S	2401	14.05
SW	24	10.71	SW	2284	13.36
W	32	14.29	W	2127	12.44
NW	32	14.29	NW	2062	12.06
Total	224	100	Total	17093	100
			CHI CUADRADO		
			0.890320913		

Fte. Elaboración propia a partir de bases cartográficas. Centro de Investigación Ecológica y Aplicaciones Forestales (CREAF).

Tabla 10. Relación de las áreas forestales quemadas inferiores a 50 hectáreas con las orientaciones.

INTERVALOS	FrecObservadas	%	INTERVALOS	FrecEsperadas	%
Zonas Llanas	0	0.00	Zonas Llanas	11	0.06
N	15	11.81	N	2085	12.21
NE	13	10.24	NE	2049	12.00
E	15	11.81	E	1947	11.40
SE	13	10.24	SE	2121	12.42
S	14	11.02	S	2398	14.04
SW	16	12.60	SW	2283	13.37
W	21	16.54	W	2124	12.44
NW	20	15.75	NW	2060	12.06
Total	127	100	Total	17078	100
			CHI CUADRADO		
			0.865655987		

Fte. Elaboración propia a partir de bases cartográficas. Centro de Investigación Ecológica y Aplicaciones Forestales (CREAF).

Tabla 11. Relación de las áreas forestales quemadas inferiores a 500 hectáreas con la pendiente.

INTERVALOS (grados)	FrecObservadas	%	INTERVALOS (grados)	FrecEsperadas	%
0-10	88	19.13	0-10	3245	18.97
10-20	178	38.70	10-20	6045	35.34
20-30	148	32.17	20-30	5198	30.39
30-40	37	8.04	30-40	2124	12.42
>40	9	1.96	>40	491	2.87
Total	460	100	Total	17103	100
			CHI CUADRADO		
			0.688760497		

Fte. Elaboración propia a partir de bases cartográficas. Centro de Investigación Ecológica y Aplicaciones Forestales (CREAF).

Tabla 12. Relación de las áreas forestales quemadas inferiores a 250 hectáreas con la pendiente.

INTERVALOS (grados)	FrecObservadas	%	INTERVALOS (grados)	FrecEsperadas	%
0-10	71	20.40	0-10	3244	18.97
10-20	133	38.22	10-20	6044	35.35
20-30	107	30.75	20-30	5194	30.38
30-40	29	8.33	30-40	2124	12.42
>40	8	2.30	>40	491	2.87
Total	348	100	Total	17097	100
			CHI CUADRADO		
			0.771518465		

Fte. Elaboración propia a partir de bases cartográficas. Centro de Investigación Ecológica y Aplicaciones Forestales (CREAF).

Tabla 13. Relación de las áreas forestales quemadas inferiores a 100 hectáreas con la pendiente.

INTERVALOS (grados)	FrecObservadas	%	INTERVALOS (grados)	FrecEsperadas	%
0-10	41	18.30	0-10	3242	18.98
10-20	89	39.73	10-20	6042	35.36
20-30	69	30.80	20-30	5190	30.38
30-40	21	9.38	30-40	2122	12.42
>40	4	1.79	>40	489	2.86
Total	224	100	Total	17085	100
			CHI CUADRADO		
			0.786947672		

Fte. Elaboración propia a partir de bases cartográficas. Centro de Investigación Ecológica y Aplicaciones Forestales (CREAF).

Tabla 14. Relación de las áreas forestales quemadas inferiores a 50 hectáreas con la pendiente.

INTERVALOS (grados)	FrecObservadas	%	INTERVALOS (grados)	FrecEsperadas	%
0-10	25	19.69	0-10	3239	18.97
10-20	51	40.16	10-20	6037	35.37
20-30	35	27.56	20-30	5185	30.37
30-40	12	9.45	30-40	2120	12.42
>40	4	3.15	>40	489	2.86
Total	127	100	Total	17070	100
			CHI CUADRADO		
			0.795137914		

Fte. Elaboración propia a partir de bases cartográficas. Centro de Investigación Ecológica y Aplicaciones Forestales (CREAF).

Tabla 15. Relación de las áreas forestales quemadas inferiores a 500 hectáreas con la radiación solar.

INTERVALOS (KJ/m ² /día)	FrecObservadas	%	INTERVALOS (KJ/m ² /día)	FrecEsperadas	%
<700	0	0.00	<700	5	0.03
700-800	0	0.00	700-800	18	0.11
800-900	2	0.43	800-900	93	0.54
900-1000	2	0.43	900-1000	303	1.77
1000-1100	11	2.39	1000-1100	510	2.98
1100-1200	25	5.42	1100-1200	1102	6.44
1200-1300	52	11.28	1200-1300	2109	12.33
1300-1400	112	24.30	1300-1400	3970	23.20
1400-1500	154	33.41	1400-1500	4808	28.10
1500-1600	85	18.44	1500-1600	3093	18.08
1600-1700	18	3.90	1600-1700	1074	6.28
>1700	0	0.00	>1700	26	0.15
Total	461	100.00	Total	17111	100.00
			CHI CUADRADO		
			0.979214133		

Fte. Elaboración propia a partir de bases cartográficas. Centro de Investigación Ecológica y Aplicaciones Forestales (CREAF).

Tabla 16. Relación de las áreas forestales quemadas inferiores a 250 hectáreas con la radiación solar.

INTERVALOS (KJ/m ² /día)	FrecObservadas	%	INTERVALOS (KJ/m ² /día)	FrecEsperadas	%
<700	0	0.00	<700	5	0.03
700-800	0	0.00	700-800	18	0.11
800-900	2	0.57	800-900	93	0.54
900-1000	2	0.57	900-1000	303	1.77
1000-1100	11	3.15	1000-1100	510	2.98
1100-1200	17	4.87	1100-1200	1100	6.43
1200-1300	44	12.61	1200-1300	2109	12.33
1300-1400	88	25.21	1300-1400	3969	23.20
1400-1500	115	32.95	1400-1500	4806	28.10
1500-1600	57	16.33	1500-1600	3092	18.08
1600-1700	13	3.72	1600-1700	1074	6.28
>1700	0	0.00	>1700	26	0.15
Total	349	100.00	Total	17105	100.00
			CHI CUADRADO		
			0.977570362		

Fte. Elaboración propia a partir de bases cartográficas. Centro de Investigación Ecológica y Aplicaciones Forestales (CREAF).

Tabla 17. Relación de las áreas forestales quemadas inferiores a 100 hectáreas con la radiación solar.

INTERVALOS (KJ/m ² /día)	FrecObservadas	%	INTERVALOS (KJ/m ² /día)	FrecEsperadas	%
<700	0	0.00	<700	5	0.03
700-800	0	0.00	700-800	18	0.11
800-900	2	0.89	800-900	93	0.54
900-1000	2	0.89	900-1000	303	1.77
1000-1100	8	3.57	1000-1100	509	2.98
1100-1200	13	5.80	1100-1200	1100	6.44
1200-1300	29	12.95	1200-1300	2108	12.33
1300-1400	52	23.21	1300-1400	3966	23.20
1400-1500	72	32.14	1400-1500	4802	28.09
1500-1600	36	16.07	1500-1600	3089	18.07
1600-1700	10	4.46	1600-1700	1074	6.28
>1700	0	0.00	>1700	26	0.15
Total	224	100.00	Total	17093	100.00
CHI CUADRADO					
0.995901844					

Fte. Elaboración propia a partir de bases cartográficas. Centro de Investigación Ecológica y Aplicaciones Forestales (CREAF).

Tabla 18. Relación de las áreas forestales quemadas inferiores a 50 hectáreas con la radiación solar.

INTERVALOS (KJ/m ² /día)	FrecObservadas	%	INTERVALOS (KJ/m ² /día)	FrecEsperadas	%
<700	0	0.00	<700	5	0.03
700-800	0	0.00	700-800	18	0.11
800-900	2	1.57	800-900	93	0.54
900-1000	2	1.57	900-1000	303	1.77
1000-1100	4	3.15	1000-1100	507	2.97
1100-1200	8	6.30	1100-1200	1100	6.44
1200-1300	20	15.75	1200-1300	2108	12.34
1300-1400	26	20.47	1300-1400	3961	23.19
1400-1500	44	34.65	1400-1500	4798	28.09
1500-1600	16	12.60	1500-1600	3086	18.07
1600-1700	5	3.94	1600-1700	1073	6.28
>1700	0	0.00	>1700	26	0.15
Total	127	100.00	Total	17078	100.00
CHI CUADRADO					
0.749386232					

Fte. Elaboración propia a partir de bases cartográficas. Centro de Investigación Ecológica y Aplicaciones Forestales (CREAF).

Tabla 19. Relación de las áreas forestales quemadas con la pendiente.

INTERVALOS (grados)	FrecEsperadas	%	INTERVALOS (grados)	FrecEsperadas	%
0-5	88	6.03	0-5	1066	6.23
5-10	243	16.66	5-10	2179	12.73
10-15	313	21.45	10-15	2881	16.84
15-20	320	21.93	15-20	3166	18.50
20-25	245	16.79	20-25	2897	16.93
25-30	149	10.21	25-30	2306	13.48
30-35	62	4.25	30-35	1408	8.23
35-40	26	1.78	35-40	718	4.20
>40	13	0.89	>40	491	2.87
Total	1459	100	Total	17112	100
			CHI CUADRADO		
			0.378569862		

Fte. Elaboración propia a partir de bases cartográficas. Centro de Investigación Ecológica y Aplicaciones Forestales (CREAF).

FIGURAS

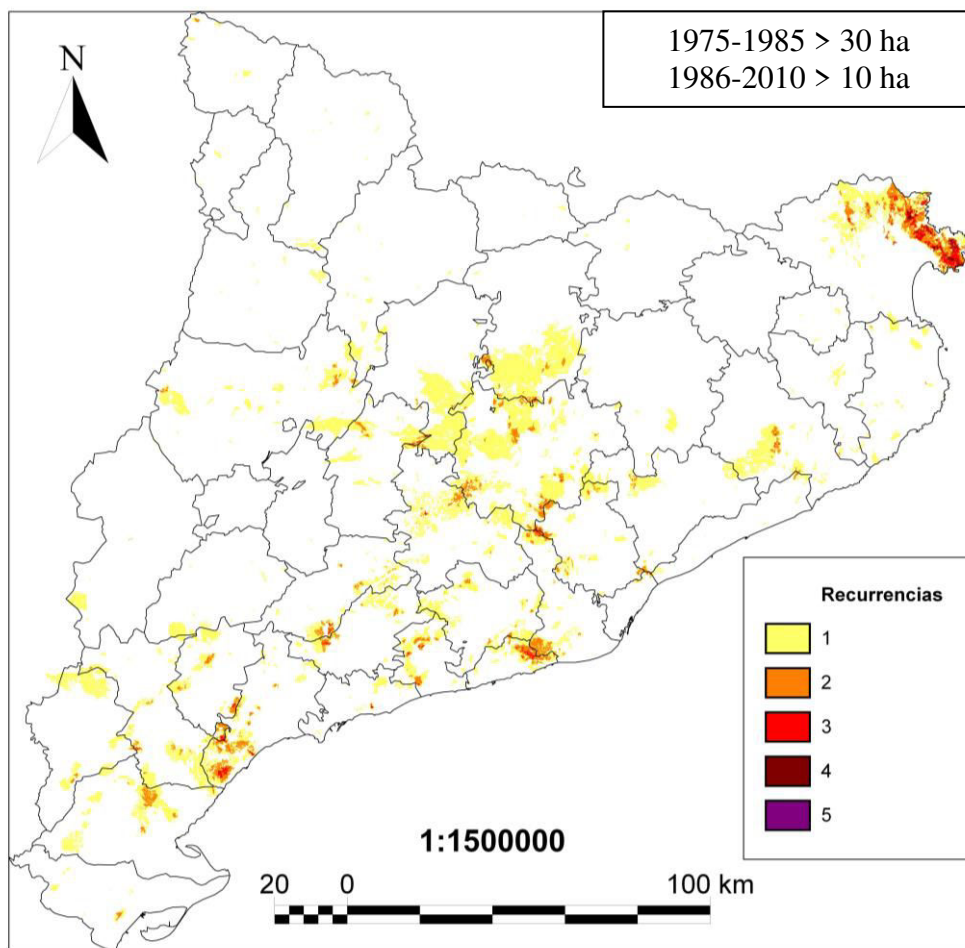


Figura 1. Mapa de recurrencia de incendios (1975-2010).

Fte. Elaboración propia a partir de bases cartográficas. Centro de Investigación Ecológica y Aplicaciones Forestales (CREAF).

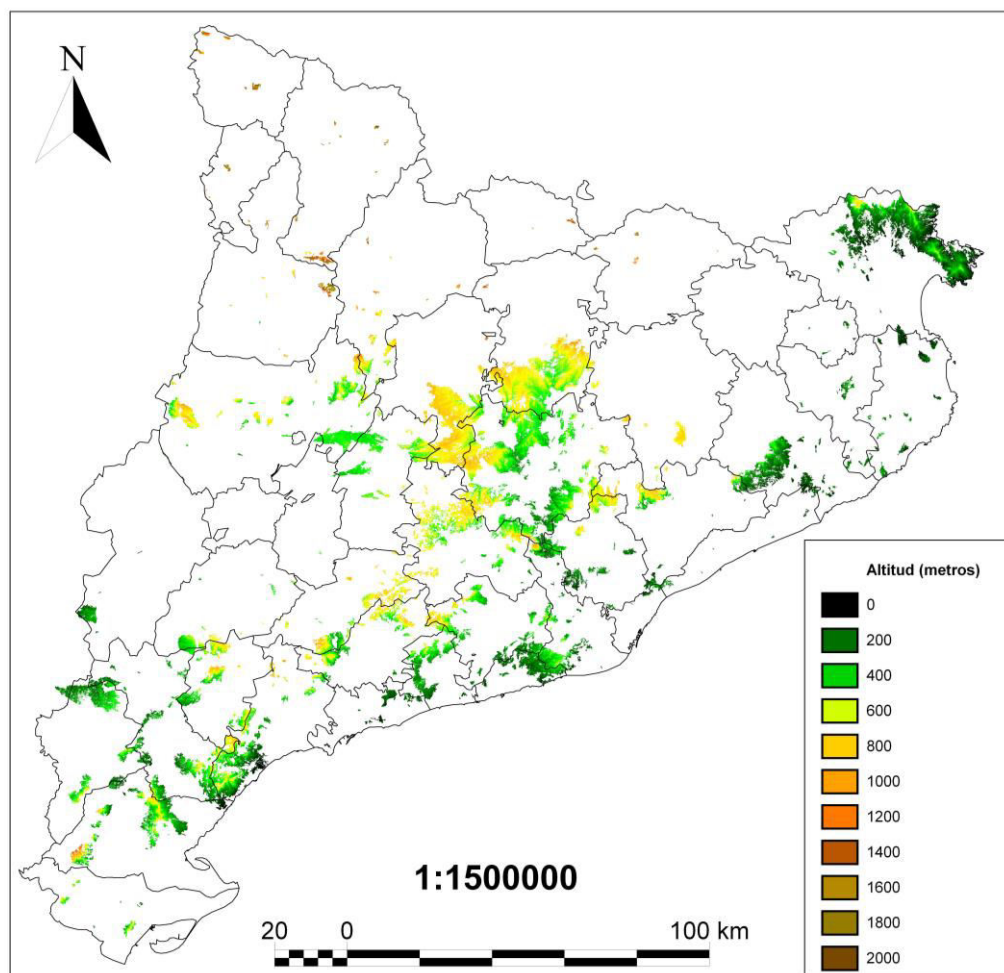


Figura 2. Modelo Digital de Elevaciones acotado al total de superficie quemada.
Fte. Elaboración propia a partir de bases cartográficas. Instituto Cartográfico de Cataluña (ICC).

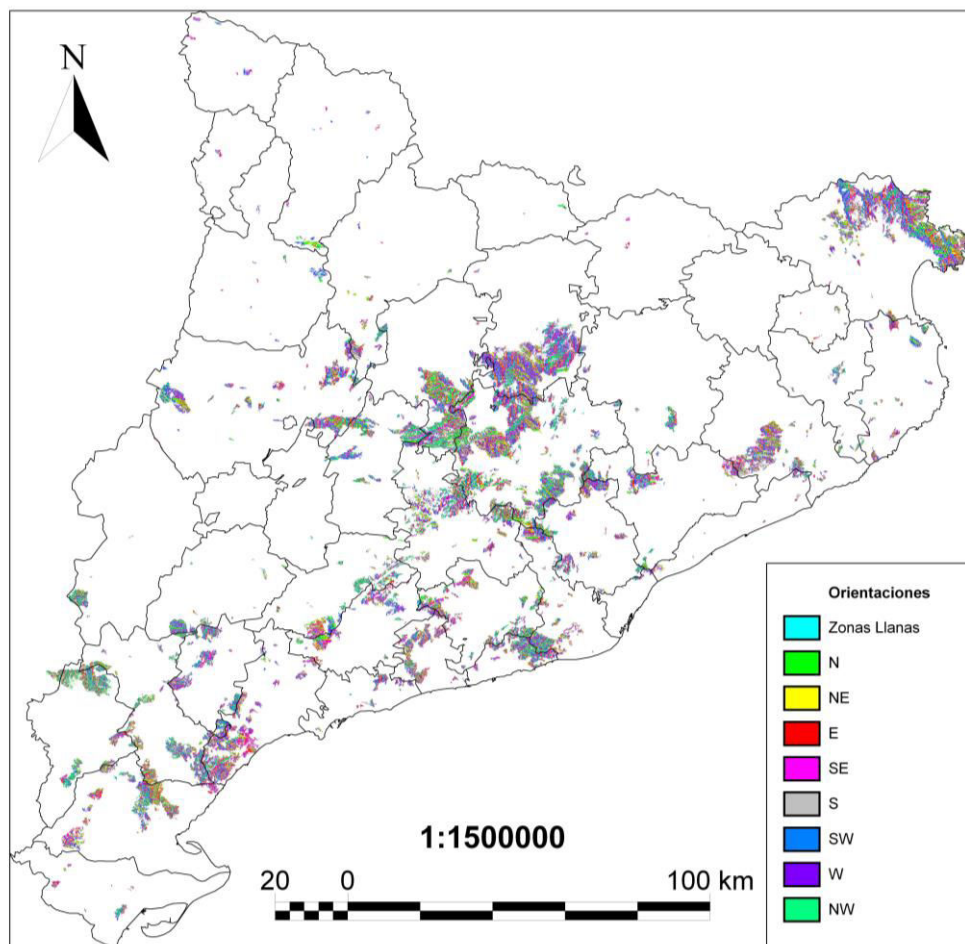


Figura 3. Modelo Digital de Orientaciones acotado al total de superficie quemada.
Fte. Elaboración propia a partir de bases cartográficas. Instituto Cartográfico de Cataluña (ICC).

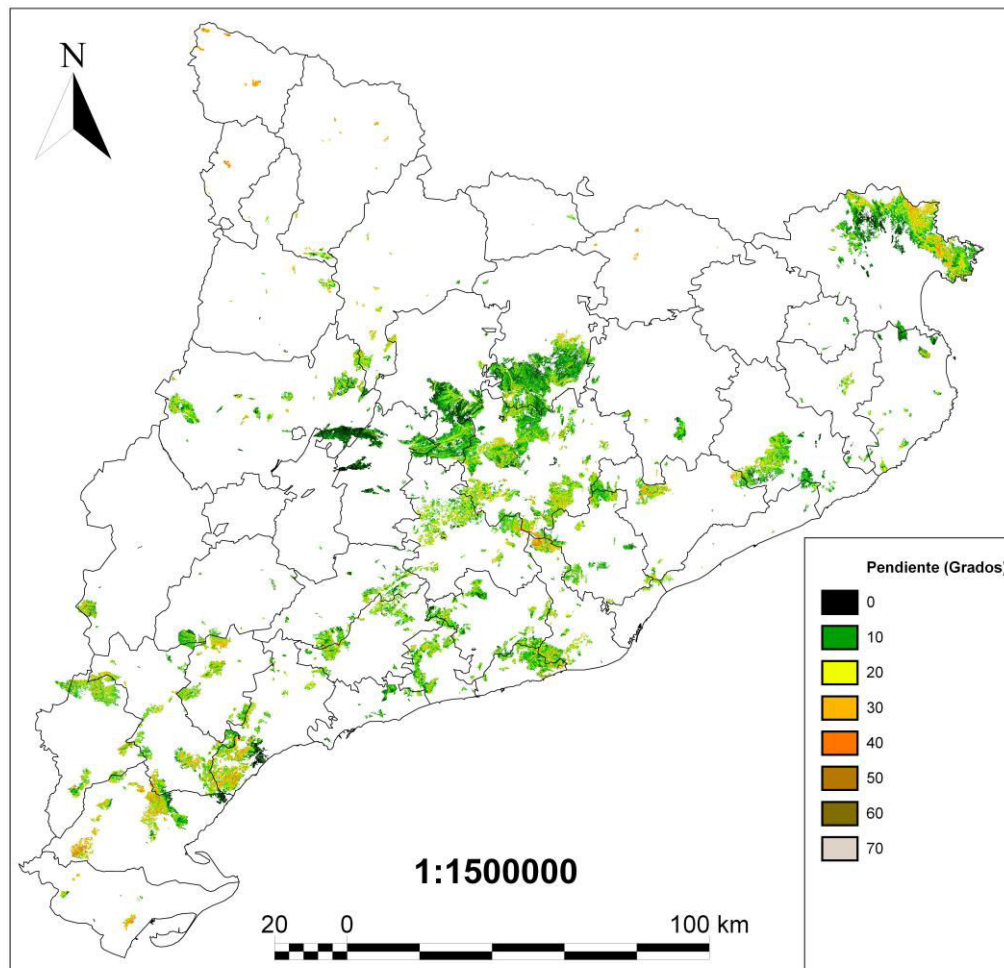


Figura 4. Modelo Digital de Pendientes acotado al total de superficie quemada.
Fte. Elaboración propia a partir de bases cartográficas. Instituto Cartográfico de Cataluña (ICC).

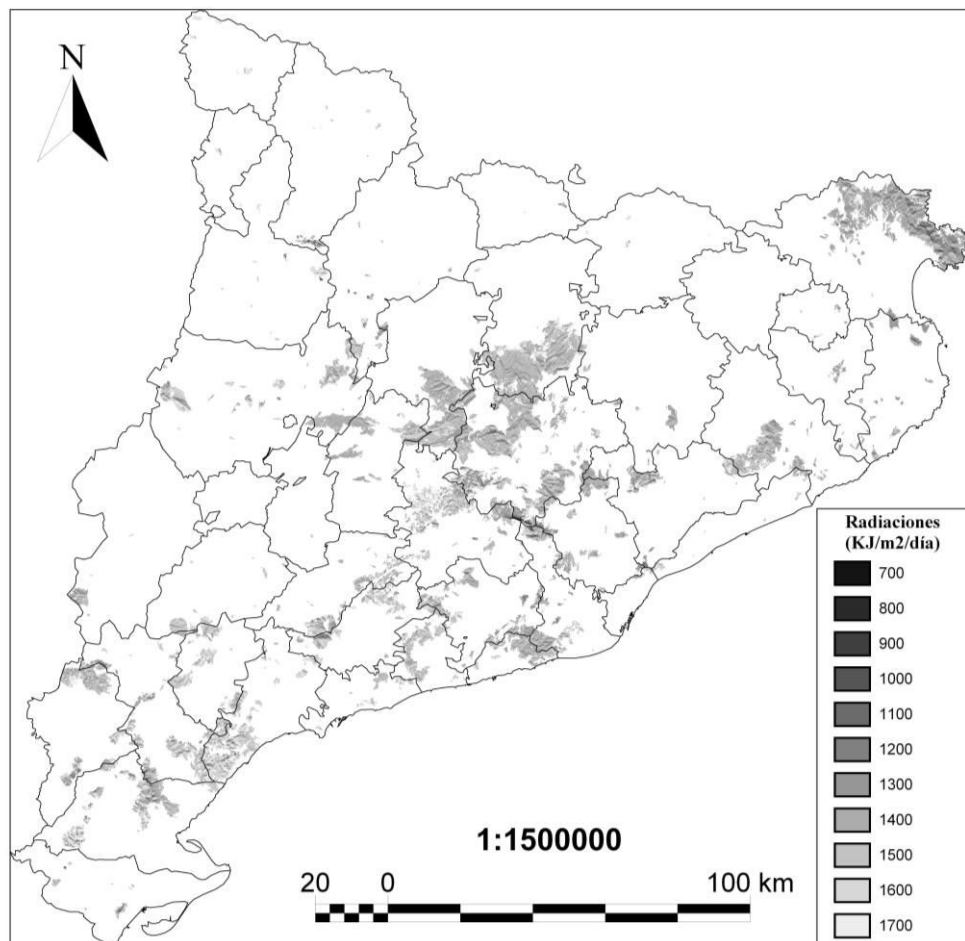


Figura 5. Ráster, de la media anual de radiación solar, acotado al total de superficie quemada.
Fte. Elaboración propia a partir de bases cartográficas. Instituto Cartográfico de Cataluña (ICC).

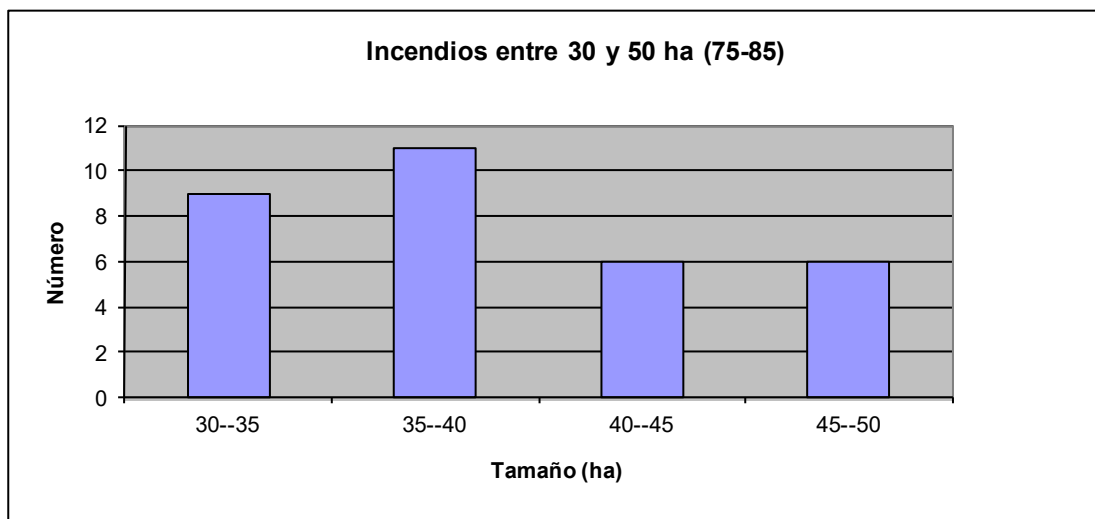


Figura 6. Distribución de incendios entre 30 y 50 ha de 1975 a 1985.

Fte. Elaboración propia a partir de bases cartográficas. Centro de Investigación Ecológica y Aplicaciones Forestales (CREAF).

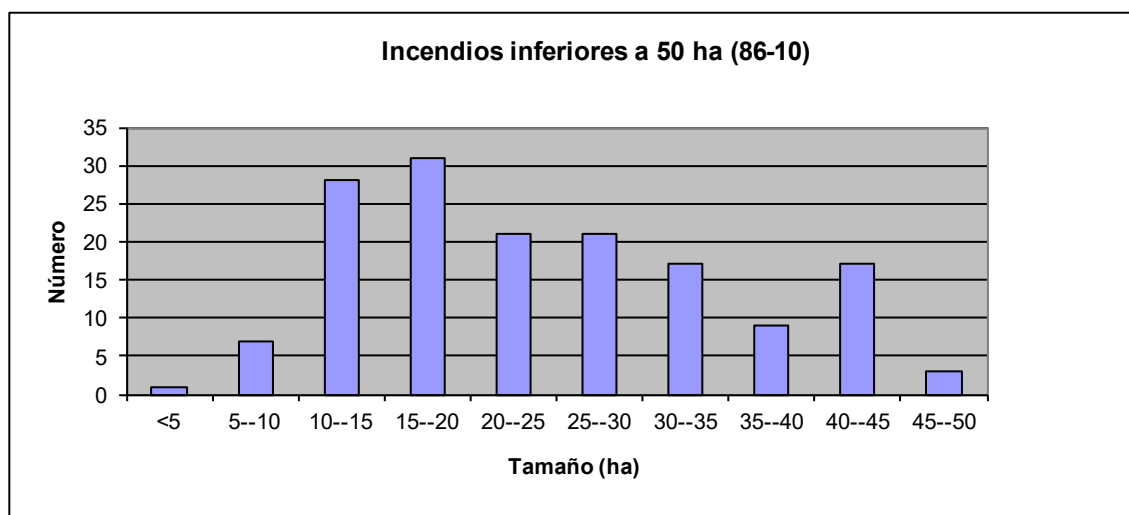


Figura 7. Distribución de incendios inferiores a 50 ha de 1986 a 2010.

Fte. Elaboración propia a partir de bases cartográficas. Centro de Investigación Ecológica y Aplicaciones Forestales (CREAF).

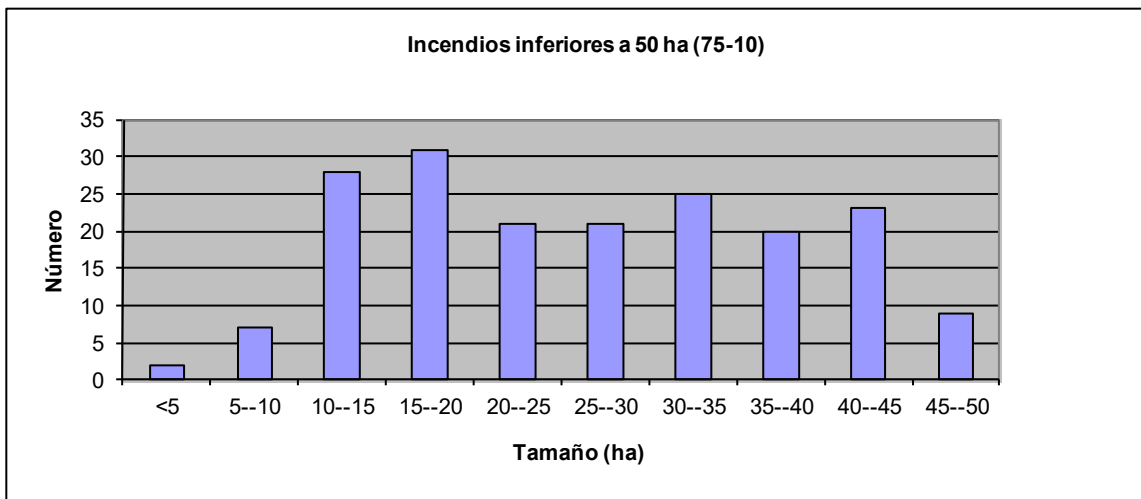


Figura 8. Distribución de incendios inferiores a 50 ha de 1975 a 2010.

Fte. Elaboración propia a partir de bases cartográficas. Centro de Investigación Ecológica y Aplicaciones Forestales (CREAF).

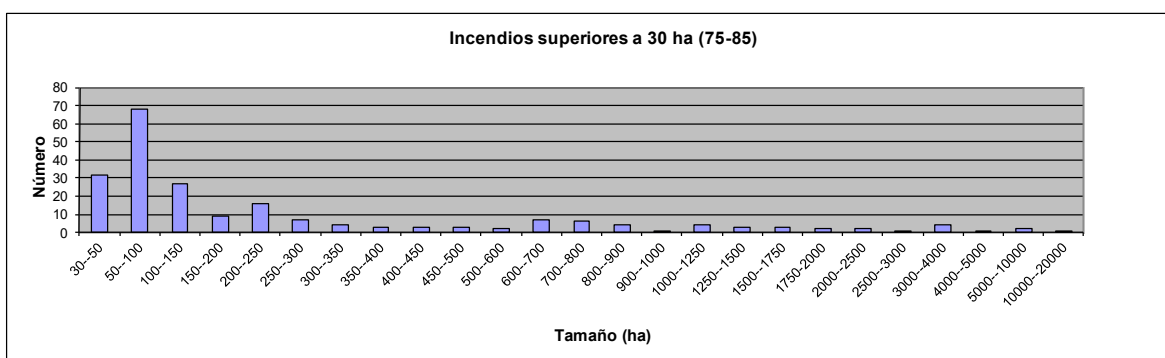


Figura 9. Distribución de incendios superiores a 30 ha de 1975 a 1985.

Fte. Elaboración propia a partir de bases cartográficas. Centro de Investigación Ecológica y Aplicaciones Forestales (CREAF).

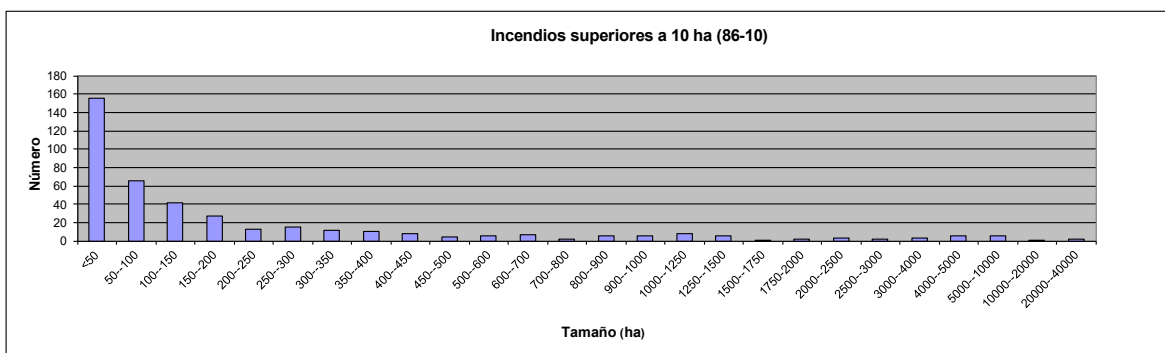


Figura 10. Distribución de incendios superiores a 10 ha de 1986 a 2010.

Fte. Elaboración propia a partir de bases cartográficas. Centro de Investigación Ecológica y Aplicaciones Forestales (CREAF).

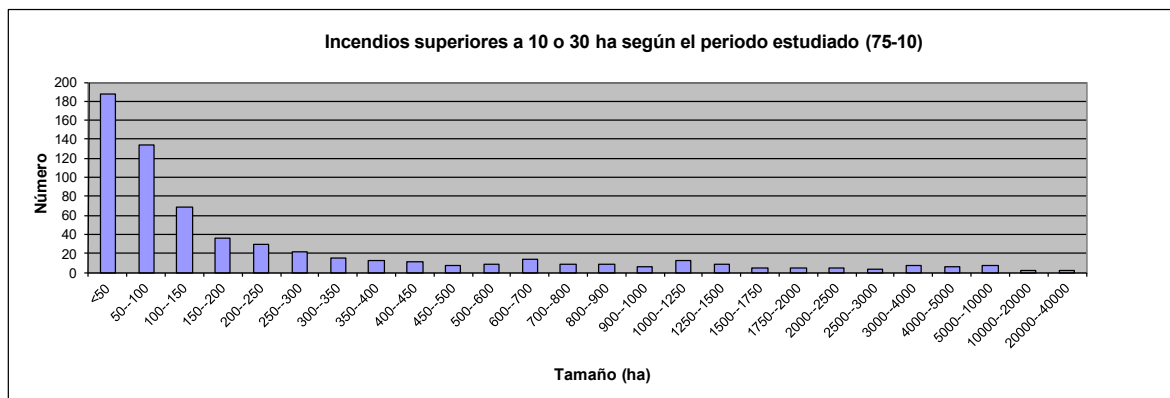


Figura 11. Distribución de incendios superiores a 10 o 30 ha según el periodo estudiado de 1975 a 2010.

Fte. Elaboración propia a partir de bases cartográficas. Centro de Investigación Ecológica y Aplicaciones Forestales (CREAF).

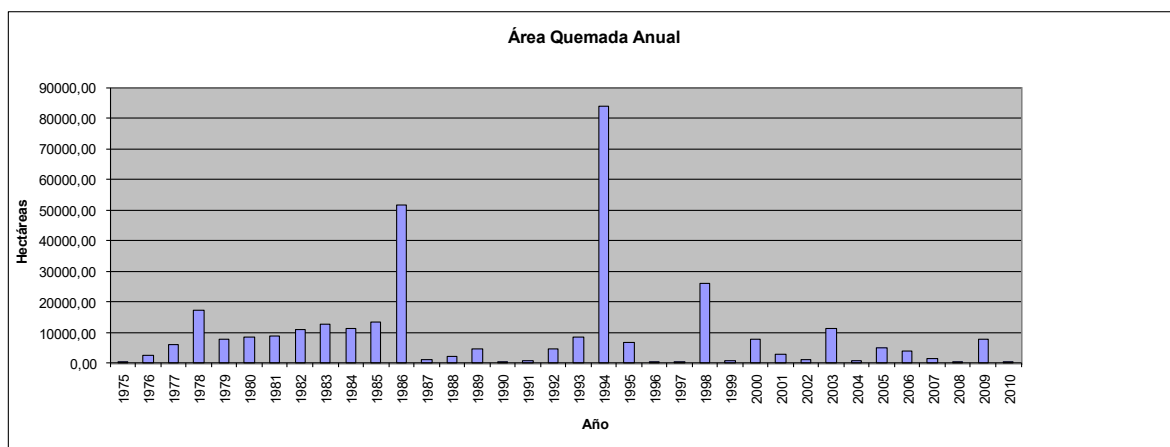


Figura 12. Superficie anual quemada en hectáreas.

Fte. Elaboración propia a partir de bases cartográficas. Centro de Investigación Ecológica y Aplicaciones Forestales (CREAF).

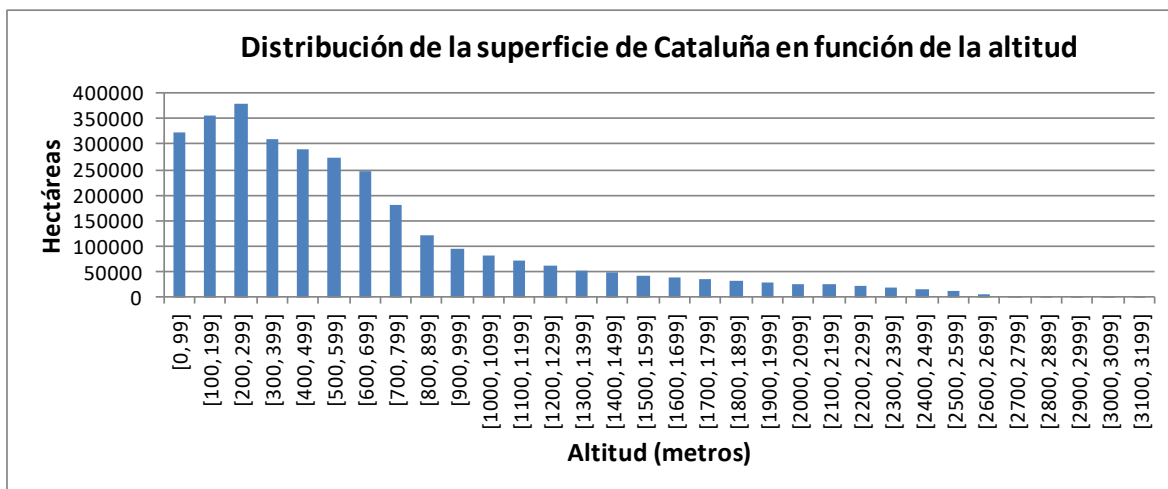


Figura 13. Distribución de la superficie de Cataluña en función de la altitud.

Fte. Elaboración propia a partir de bases cartográficas. Centro de Investigación Ecológica y Aplicaciones Forestales (CREAF).

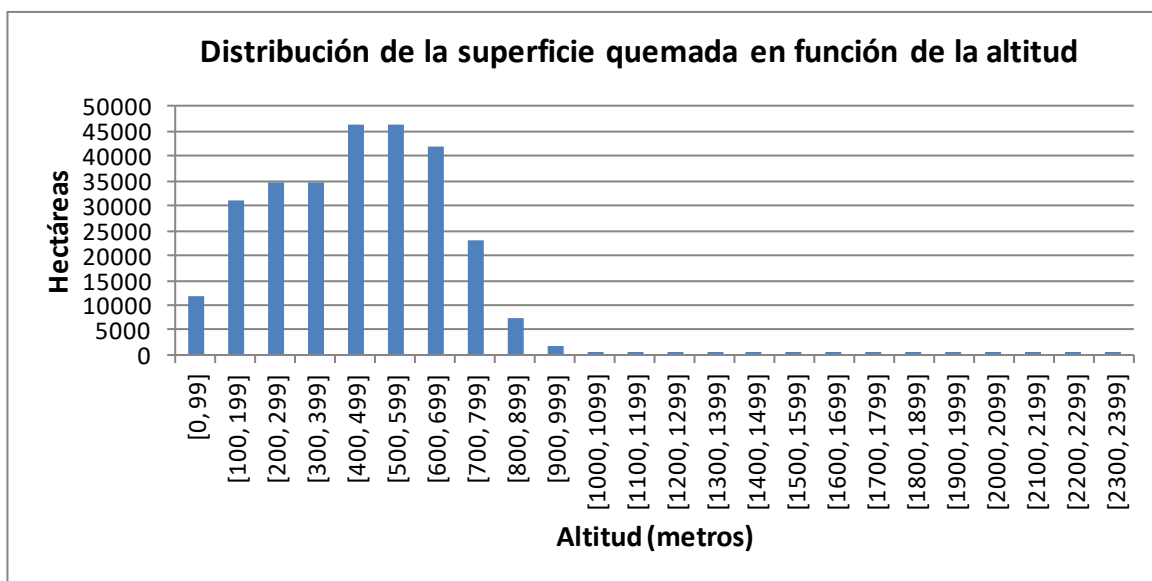


Figura 14. Distribución de la superficie quemada de Cataluña en función de la altitud.

Fte. Elaboración propia a partir de bases cartográficas. Centro de Investigación Ecológica y Aplicaciones Forestales (CREAF).

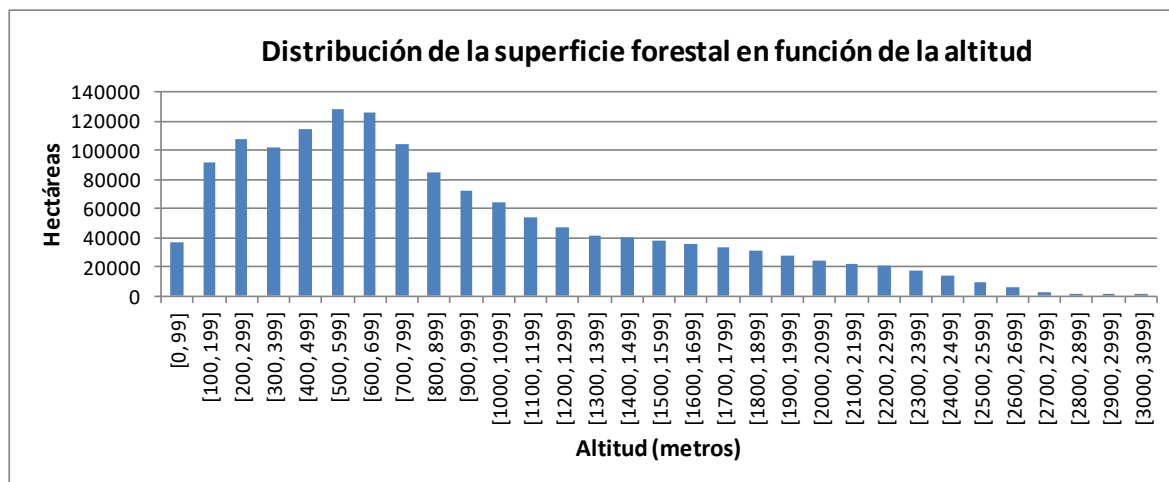


Figura 15. Distribución de la superficie forestal de Cataluña en función de la altitud.

Fte. Elaboración propia a partir de bases cartográficas. Centro de Investigación Ecológica y Aplicaciones Forestales (CREAF).

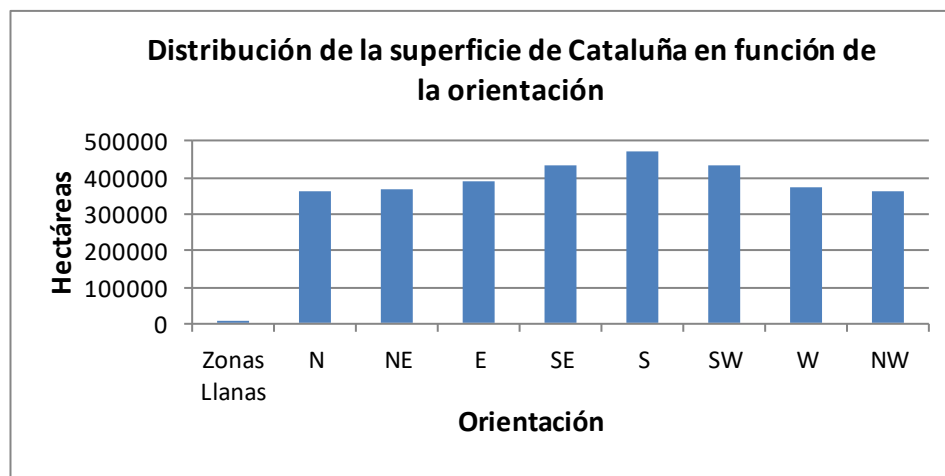


Figura 16. Distribución de la superficie de Cataluña en función de la orientación.

Fte. Elaboración propia a partir de bases cartográficas. Centro de Investigación Ecológica y Aplicaciones Forestales (CREAF).

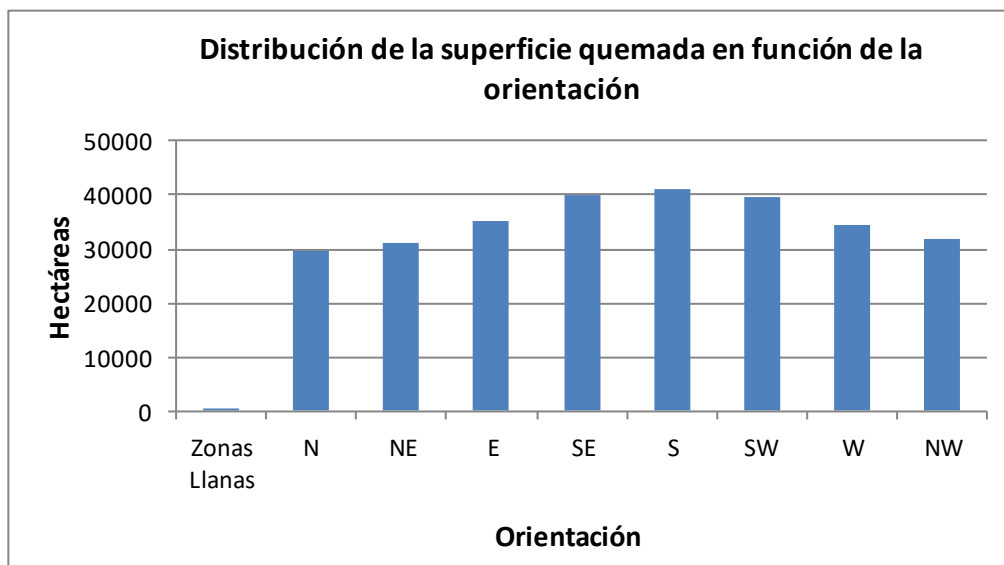


Figura 17. Distribución de la superficie quemada de Cataluña en función de la orientación.
Fte. Elaboración propia a partir de bases cartográficas. Centro de Investigación Ecológica y Aplicaciones Forestales (CREAF).

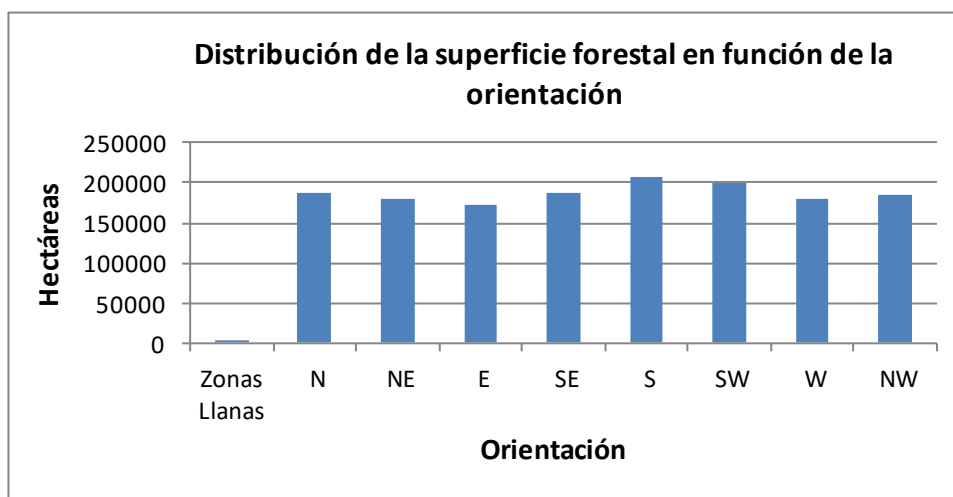


Figura 18. Distribución de la superficie forestal de Cataluña en función de la orientación.
Fte. Elaboración propia a partir de bases cartográficas. Centro de Investigación Ecológica y Aplicaciones Forestales (CREAF).

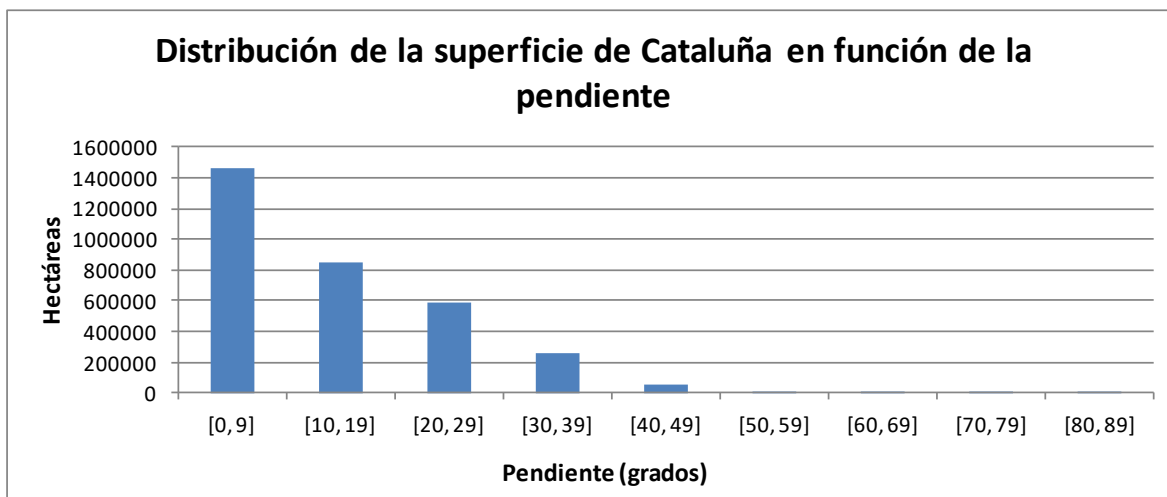


Figura 19. Distribución de la superficie de Cataluña en función de la pendiente.
Fte. Elaboración propia a partir de bases cartográficas. Centro de Investigación Ecológica y Aplicaciones Forestales (CREAF).

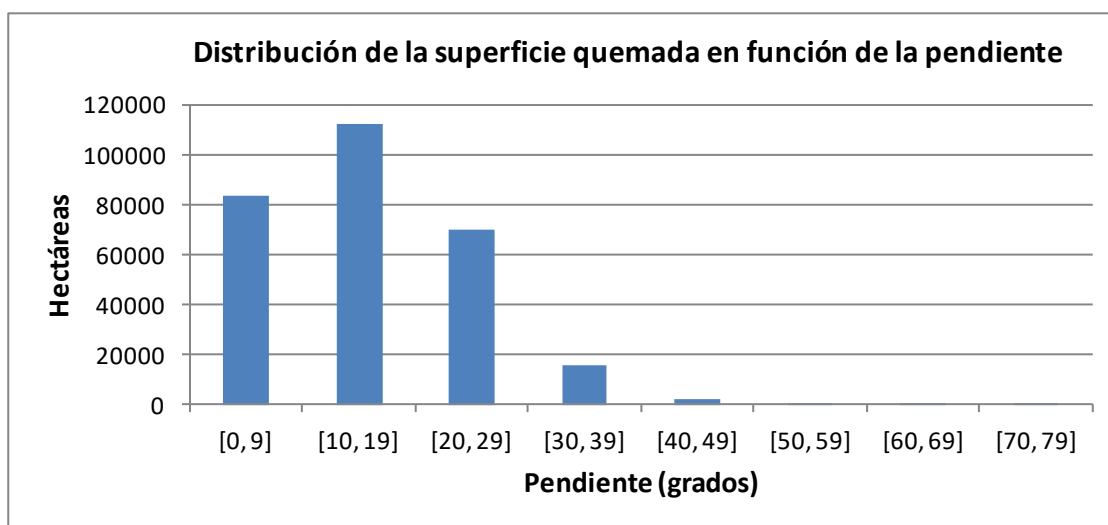


Figura 20. Distribución de la superficie quemada de Cataluña en función de la pendiente.
Fte. Elaboración propia a partir de bases cartográficas. Centro de Investigación Ecológica y Aplicaciones Forestales (CREAF).

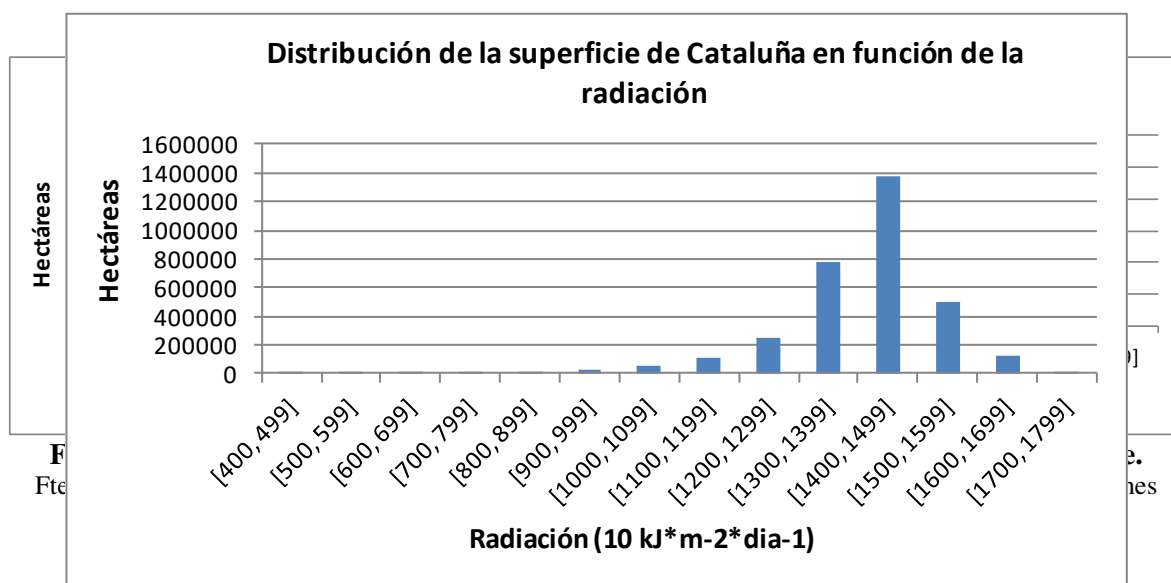


Figura 22. Distribución de la superficie de Cataluña en función de la radiación solar.
Fte. Elaboración propia a partir de bases cartográficas. Centro de Investigación Ecológica y Aplicaciones Forestales (CREAF).

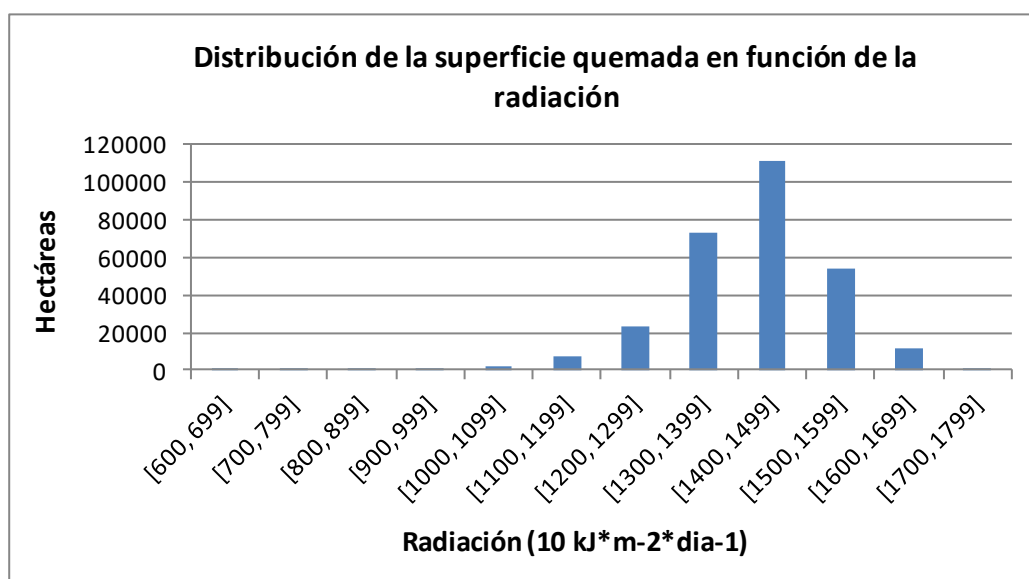


Figura 23. Distribución de la superficie quemada de Cataluña en función de la radiación solar.
Fte. Elaboración propia a partir de bases cartográficas. Centro de Investigación Ecológica y Aplicaciones Forestales (CREAF).

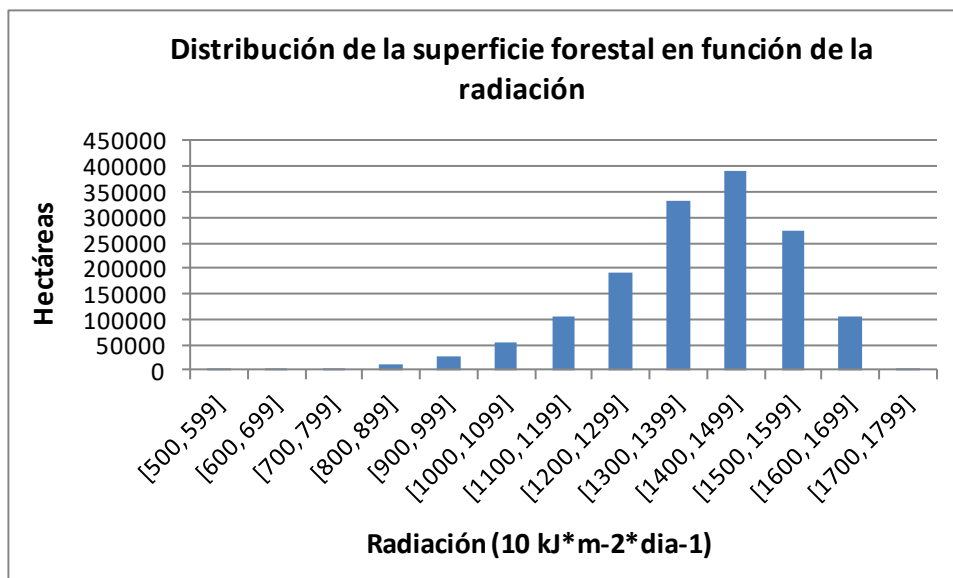


Figura 24. Distribución de la superficie forestal de Cataluña en función de la radiación solar.

Fte. Elaboración propia a partir de bases cartográficas. Centro de Investigación Ecológica y Aplicaciones Forestales (CREAF).

¹ En el caso de los incendios más recientes y en general, los incendios por debajo de 10 ha se han considerado artefactos pese a observarse en la [tabla 1](#). Para estos incendios (concretamente de los años 99, 02, 03 y 05) se confirmó, desde el antiguo Departamento de Medio Ambiente y Vivienda de la Generalitat de Cataluña, un umbral de 10 ha para estudiar y delimitar los incendios en Cataluña.

² Cabe destacar que la elección del MCSC-1 frente a los otros Mapas de Cubiertas del Suelo de Catalunya, es debido a que pertenece al año 1993, siendo éste la mediana en la escala temporal de todo el período estudiado.

³ En el caso de la pendiente se intentó hacer intervalos cada 5 °, sin embargo, el resultado obtenido se alejaba aún más del umbral de significación de 0.05. (véase [tabla 19](#)).

⁴ A menudo, se descarta este factor de orientaciones, y se utiliza directamente la radiación solar para intentar establecer correlaciones con la distribución de la vegetación (en este caso, la distribución forestal o potencial).