



MÁSTER EN SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICOS

Proyecto Fin de Máster

(Resumen)

LUCHA CONTRA INCENDIOS FORESTALES

Análisis Multicriterio

Análisis de Redes

Análisis de Ubicación

Alumno: Xavier Martí
Director: Francesc Valls
Convocatoria: Marzo 2015

Índice

1.	Introducción	1
2.	Objetivos	2
3.	Conceptos sobre el fuego.....	3
4.	Estado del arte	4
5.	Situación y Emplazamiento	5
6.	Características del municipio	5
7.	Captura de datos	6
1.	Evaluación Multicriterio	7
1.	Análisis de redes.....	8
8.	Ubicación de las torres de observación	9

1. Introducción

El presente proyecto trata sobre los incendios forestales y se desarrolla en la zona mediterránea, concretamente en el área de Cataluña.

Debido a que la zona mediterránea dispone de un clima típico durante todo el año, con otoños y primaveras de temperaturas no muy frías y humedad moderada, veranos considerablemente secos y calurosos, y relieves bastante accidentados, los incendios forestales son un problema recurrente año tras año. Hay que resaltar además que el área de tipo forestal en Cataluña representa más del 60% del territorio, siendo:

- Un 43% de tipo forestal arbolada
- Un 17% matorros y pastos

Además de lo comentado hasta ahora, el hecho de que haya un continuo abandono de las zonas de conreo y pastos, produce por lo general un importante aumento de la masa forestal fácilmente inflamable debido a la falta de siega, asimismo, la zona mediterránea dispone de un tipo de sociedad activa que ha modificado el paisaje haciendo que algunos ecosistemas desaparezcan. Los cambios a nivel global alteran también la dinámica natural de los incendios en el área, ya que debido a la disminución de nutrientes y agua disponibles junto con los cambios en el comportamiento de polinizadores o plagas, genera la combinación perfecta de factores para que aparezcan los llamados incendios forestales de tipo GIF (Grandes Incendios Forestales).

Este tipo de incendios forestales (GIF), se caracterizan por ser extremadamente destructivos al tener una gran violencia i magnitud con un gran poder de destrucción, tanto en zonas rurales como urbanas, debido a ello, las labores de extinción para este tipo de incendios se caracterizan por ser muy complejas y peligrosas para las personas.

Gracias a la implantación de los Sistemas de Información Geográficos (SIG), se pretende crear un sistema de análisis que permita mediante diferentes herramientas y a partir de los datos recogidos en campo, analizar el estado de cualquier zona del territorio gracias a la posibilidad de realizar consultas interactivas, analizar la información espacial y editar los datos ya que debido a los diferentes estudios y modelos que van apareciendo éstos se van actualizando. Este estudio interactivo, constará de una estructura basada en dos partes; La primera utilizará un conjunto de datos de tipo ráster (ortofotos, MDE...) mediante la cual se analizará todo lo relacionado con la topografía del terreno, y la segunda tomará datos en formato vectorial que informen de todos aquellos elementos ya sean puntuales, lineales o poligonales que se hallen sobre la superficie.

A la hora de extinguir incendios, y más si son de magnitud GIF, otro aspecto importante a tener en cuenta además del análisis SIG, hace referencia a la estructura organizativa disponible para hacer frente al fuego. Existe la posibilidad de que debido a la magnitud de éste o a su ubicación, una sola unidad de extinción no pueda hacer frente al fuego, y por ello será necesaria la confluencia de diferentes unidades de extinción provenientes de diferentes localizaciones, lo que implica distintos métodos de trabajo. Por ello, gracias al SIG, se pretende crear una óptima gestión de los medios de extinción que acudan al incidente, considerando los efectivos disponibles técnicos y humanos en cada uno de los parques de bomberos de la región.

2. Objetivos

Uno de los aspectos más complicados a la hora de extinguir un fuego es inicialmente localizarlo y posteriormente lograr acceder a él para apagarlo, sobretodo, cuando el fuego se encuentra en zonas lejanas de las vías principales, ya que éstas disponen de una serie de parámetros que dan información esencial para los vehículos de extinción como velocidades, anchuras de vial, puentes o túneles entre otros.

Cuando el fuego se produce en zonas poco accesibles, es necesario tener conocimiento de la red de pistas forestales o caminos que existen en la zona para poder acceder a él. El problema que existe con este tipo de redes secundarias es que al tratarse de caminos rurales, o bien no existe información sobre ellos, o ésta está desactualizada en cuanto a anchuras de vía, estado y tipo de firme u otras informaciones de carácter importante a nivel de acceso.

Éstos parámetros, condicionarán en gran medida el acceso de según qué vehículos a determinados caminos, ya que una vía muy estrecha no permitirá el acceso de según qué vehículos, ni un camino con giros muy cerrados permitirá el acceso de camiones de una longitud determinada.

Después de lo comentado hasta el momento, la tesina que se presenta tiene tres objetivos claros:

- Generar un análisis multicriterio que identifique en el municipio seleccionado las zonas con un mayor riesgo de incendio forestal a partir de diferentes modelos.
- Diseñar un sistema SIG enfocado a la toma de decisiones y a la planificación de estrategias relacionadas con la búsqueda de la ruta de acceso más rápida, por parte de los servicios de extinción desde diferentes parques de bomberos de una zona hasta el punto donde se halle el fuego.
- Realizar un análisis en el que se determinará si las torres de vigilancia de los bomberos de una zona de estudio se encuentran en el lugar más idóneo para desarrollar su tarea de control.

Se ha decidido realizar el proyecto a continuación presentado con el software libre QGIS que viene complementado con el también software libre GRASS. QGIS junto con GRASS, presentan grandes opciones de conectividad entre una gran cantidad de tipos de bases de datos presentes en el mercado, ya sean de pago como *Oracle* o gratuitas como *PostGIS*, lo que facilita también la posibilidad de trabajar en el ámbito del *webmapping*. Además, gracias al complemento GRASS, QGIS obtiene una gran cantidad de herramientas de geoproceso que nada tienen que envidiar a otros softwares SIG de pago.

Cierto es que existe una gran comunidad de desarrolladores detrás de la estructura de QGIS, pero a pesar de ello, existen aún herramientas muy específicas que están por desarrollar, por tanto, a pesar de que este proyecto ha intentado ser 100% opensource el ámbito del análisis de redes ha requerido el uso de ArcGIS.

3. Conceptos sobre el fuego

Para que se pueda generar un fuego de manera espontánea se deben producir unas condiciones determinadas que vienen dadas por tres factores generales: Calor, Oxígeno y Combustible (Triángulo de fuego).

Cuando estos tres factores se combinan en proporciones adecuadas es cuando se desencadenan los fuegos, de igual manera la posibilidad de prevenir o extinguir un fuego viene dada por eliminar alguno de estos tres factores comentados.

Existe un elemento más que no ayuda a la creación del fuego pero sí a su continuidad y propagación, la reacción en cadena (Tetraedro de fuego).

Dicha reacción es necesaria para asegurar la continuidad de la llama y está compuesta por los elementos del triángulo, si alguno de ellos falta no habrá reacción y por consiguiente dejará de haber fuego. La razón para emplear un tetraedro y no un cuadrado es que cada uno de los tres elementos está adyacente directamente y en conexión con cada uno de los otros tres elementos. Al retirar uno o más de éstos del tetraedro, hará que este quede incompleto y por consiguiente el resultado será la extinción de la llama.

A continuación se describen los parámetros para la creación del fuego, ya que posteriormente deberán tenerse en cuenta para realizar el análisis:

- **Oxígeno:** Este parámetro hace referencia en gran parte a la topografía de la zona , ya que tiene en cuenta factores como:
 - La pendiente de la zona (+ pendiente = + velocidad)
 - Orientación y Exposición de la zona (+ solana = + propagación)
 - La altitud (+ altitud = - velocidad)
 - El relieve (+ relieve = + velocidad)

- **Calor:** En gran medida hace referencia al tiempo atmosférico del lugar:
 - Temperatura
 - Humedad
 - Viento

- **Combustibles:** Materia capaz de arder:
 - Carga
 - Humedad
 - Tamaño y Forma
 - Compactación
 - Disposición

4. Estado del arte

Actualmente existe una estrecha relación entre los sistemas SIG y la prevención y extinción de los incendios forestales. Los sistemas SIG permiten trabajar de manera virtual sobre el terreno gracias a los elementos, que con el tiempo se han ido cartografiando gracias entre otros a la herramienta GPS, que pueden ayudar en la prevención de los fuegos, ya sean por ejemplo torres de vigía, hidrantes, parques de bomberos, etc. Con estos elementos cartografiados junto con otras informaciones del terreno es posible trazar planes específicos de lucha contra incendios forestales para diferentes zonas del territorio.

Como se verá, mediante la herramienta SIG se pueden generar una serie de estudios de pendientes, combustibilidad y orientaciones entre otros que permiten determinar que partes de un territorio tienen un mayor riesgo de incendio. Además de analizar propiamente el territorio, con los sistemas de información geográfica y una buena cartografía de la zona es posible también trabajar con las estructuras existentes, por ejemplo, los grafos.

Una red de grafos representa, gracias a una serie de nodos unidos por aristas, las relaciones que existen entre un conjunto de elementos, por tanto, se puede considerar una red viaria como un conjunto de grafos. Gracias a esta red formada por grafos es posible determinar qué rutas deben seguir los servicios de extinción para lograr llegar lo más rápidamente posible al incendio forestal u otros incidentes.

El tiempo de llegada de servicios de extinción a un fuego es de suma importancia ya que se considera que el tiempo límite para iniciar una extinción forestal se halla en el intervalo definido por los 25 a 35 minutos, por ello es de suma importancia que exista una gran optimización en las tareas previas a la llegada del lugar del incendio.

Una herramienta muy útil en el caso del análisis de redes es el uso de los mapas de isócronas. Se trata de un tipo de mapas que mediante líneas unen puntos de igual condición generando zonas de color que indican tiempos. La base del funcionamiento consiste en determinar una localización exacta de uno o varios elementos y a continuación definir unas condiciones de velocidad que serán variables en función de la topografía y el tipo de vial.

Hay que destacar que para el tema de la velocidad se considera que deben tenerse en cuenta 100 metros hacia el exterior desde ambos lados del vial, ya que esta distancia es suficiente como para ser cubierta por las mangueras de los bomberos, por tanto, el tiempo de llegada a estas zonas se establecerá como el mismo que para la llegada al vial.

De igual manera, se establece que sobre una superficie A a la que pueden llegar los medios terrestres, hay que considerar alrededor de ésta un área de influencia de 50 metros el tiempo de llegada de la cual, debe de ser el mismo por parte de los servicios de extinción que el empleado para la llegar a la superficie A.

A pesar de las ventajas que presenta el hecho de trabajar con los sistemas de información geográficos, éstos también tienen algunas carencias, como por ejemplo, que en caso de no disponer de una cartografía bien actualizada puede suceder que los análisis que se realicen falten en ocasiones a la verdad, o que debido a que las imágenes rasterizadas están compuestas por píxeles, es decir, celdas cuadradas de un determinado tamaño, existan por ejemplo zonas sobre el terreno que no cumplan con la realidad ya que el tamaño del píxel abarca una zona con una diferencia de cota que no es posible apreciar debido al tamaño de éste.

5. Situación y Emplazamiento

El municipio que se ha seleccionado para realizar los análisis SIG del presente proyecto ha sido Berga. Con una extensión de 22,54 km² está situado entre la sierra de Queralt y el valle del Llobregat dentro de la comunidad autónoma de Cataluña. Se trata de la capital de comarca del Berguedà, lo que hace que el municipio sea el punto de confluencia económica, social y de comunicación de ésta, además se encuentra a escasamente 30 minutos de Manresa y a 70 de Barcelona-Sur.

En la actualidad, Berga está francamente bien comunicada gracias en gran parte a la apertura de nuevas autopistas y túneles como son la nueva autopista que va de Terrassa a Rubí, o la entrada en funcionamiento de los túneles de Vallvidrera, elementos que permiten llegar a la Vía Augusta de Barcelona en algo menos de una hora. En el norte, mediante el Túnel del Cadí, existe conexión con la Seu d'Urgell o Puigcerdà, mientras que también en el norte pero por la zona francesa, la apertura del Túnel de Puymorens ha creado una conexión entre la comarca y las tierras francesas.

Situación

Berga se ubica dentro de la comunidad autónoma de Catalunya en la comarca del Berguedà acogida por la provincia de Barcelona.

El Berguedà está delimitado por las siguientes comarcas: La Cerdaña al norte, El Ripollés y Osona al este, El Bages al sur y El Solsonès y l'Alt Urgell al oeste.

Emplazamiento

Trabajando a nivel municipal los municipios que limitan con Berga son: Cercs al norte, Castellar del riu y Capolet al oeste, Avià al sur y Olvan al este.

6. Características del municipio

Se ha decidido elegir el municipio de Berga como zona de estudio, en base al cumplimiento de ciertos requisitos que se han considerado necesarios para llevar a cabo un proyecto de este tipo:

- Dispone de una orografía accidentada que va desde la cota más baja de 521 m hasta la más alta de 1971 m propiciando un desnivel de 1450 metros, hecho que permite dar más realismo al proyecto.
- La zona dispone de varios parques de bomberos ya sean de funcionarios u otros repartidos alrededor de la comarca del Berguedà y colindantes, permitiendo tener en cuenta más vehículos reales a la hora de realizar el estudio.
- Dispone de una variada red viaria con diferentes tipos de vía.

7. Captura de datos

Obviamente, antes de empezar a trabajar para lograr los objetivos mencionados, ha sido necesario obtener los datos de trabajo, y posteriormente, corroborar que éstos son correctos y están debidamente actualizados.

El primer objetivo marcado consiste en realizar un análisis multicriterio del municipio de Berga, por ello, han sido necesarias dos piezas claves:

- Por una parte, se ha descargado desde la web del ICGC un modelo digital del terreno (MDT) como base de todos los modelos relacionados con la topografía de la zona.
- Por otra parte, se ha descargado desde el CREA un mapa de cubiertas del suelo para generar entre otros un modelo de combustibilidad muy útil para determinar aquellas zonas que debido al tipo de vegetación de que disponen tienen un mayor riesgo de incendio.

Con la unión de todos los modelos resultantes de la información mencionada, será posible determinar aquellas zonas con un mayor porcentaje de posibilidades de arder.

Se ha establecido un segundo objetivo que pretende determinar las rutas más óptimas por parte de los parques de bomberos de una región a un fuego declarado. La información necesaria para desarrollar dicho objetivo ha sido descargada del portal Gencat, y ha consistido en una capa shape que contiene la red de grafos viarios de Cataluña. Posteriormente a la descarga de los grafos, se ha analizado con detenimiento la información contenida en la capa y se han corregido los errores gráficos y alfanuméricos que se han detectado. La propia capa de grafos trae consigo datos necesarios para el análisis como el ancho de vial, el tipo de firme o las pendientes de los viales que determinarán si es posible o no el acceso de un tipo determinado de vehículo a una zona.

El tercer y último objetivo que se ha querido abarcar en la tesina, hace referencia al estudio de la ubicación de las torres de observación. Para desarrollar este último objetivo se ha utilizado información facilitada por Bombers de la Generalitat junto con el MDT previamente descargado desde el ICGC.

La capa de torres de vigilancia facilitada por el cuerpo de bomberos, contiene entre otros datos las coordenadas UTM de cada una de las torres lo cual ha facilitado enormemente su ubicación en el MDT. Como se verá, mediante la herramienta *viewshed* y la posición de las torres, será posible averiguar qué cantidad de superficie es posible visualizar desde éstas, apreciando así si su ubicación es la más adecuada o no.

8. Evaluación Multicriterio

Una evaluación multicriterio permite llegar a una conclusión para tomar una decisión, considerando de manera simultánea varios criterios sobre los cuales se establece una ponderación en función de diferentes factores o restricciones.

Se entiende entonces que para poder aplicar una evaluación multicriterio previamente deben existir una serie de alternativas y criterios sobre un ámbito determinado que requiere de estudio.

Este tipo de análisis puede ser aplicado a muchos y variados ámbitos, ya sean de tipo económico, territorial, social, etc. En función del objetivo con el que se realice. Para este proyecto, al tratarse un sistema de rutas, se ha decidido realizar un estudio centrado en el ámbito del territorio de Berga, es decir, mediante ésta evaluación se ponderarán y analizarán todos aquellos aspectos que puedan afectar al acceso de los vehículos a un punto determinado dentro del municipio.

Teniendo en cuenta el triángulo de fuego comentado anteriormente, se ha considerado interesante realizar una evaluación multicriterio de aquellos factores que pueden influir en la creación y propagación de incendios para determinar las zonas de mayor riesgo.

Los dos pilares principales a la hora de realizar el análisis son por un lado el Modelo de Elevaciones, y por otro el Mapa de Cubiertas del suelo. A partir de estos dos pilares, se han desarrollado tres modelos:

- Modelo de Pendientes
- Modelo de Orientaciones
- Modelo de Combustibilidad

Mediante el modelo de elevaciones (MDT) se elaboran el modelo de pendientes i el de orientaciones ya que ambos tienen que ver con la morfología del terreno, mientras que por parte del modelo de cubiertas del suelo se elabora el mapa de combustibilidad que hace referencia a la facilidad que tienen los vegetales para arder.

9. Análisis de redes

Entendemos como red un conjunto de elementos lineales interconectados por los cuales circula un flujo de un recurso que puede ser de tipo hídrico, transporte, personas, energía o datos entre otros. En la creación de un análisis de redes se pueden tener en cuenta dos aspectos:

- Por una parte se puede considerar la **Ruta más corta**, que está basada en la longitud de los segmentos de una red y que valorará la rapidez en recorrer un trayecto sin tener en cuenta, por ejemplo, la velocidad permitida en los tramos de la ruta, o si se trata de una ruta muy corta pero a la vez muy revirada.
- Por otra parte, puede ser interesante averiguar cuál es la **Ruta más eficiente** entre dos puntos a nivel de coste, es decir teniendo en cuenta el tiempo invertido en el trayecto en lugar de la distancia del recorrido.

Realmente, a la hora de realizar un buen análisis de redes buscando la mejor alternativa, se suele considerar la **Ruta más eficiente**, que como se ha comentado está basada en el tiempo que se tarda en recorrer cada uno de los segmentos que componen la red por donde circulará el recurso.

Cuando se habla de análisis de ruta de tipo eficiente, se está hablando indirectamente de la variable Impedancia, que hace referencia al coste de llevar un recurso de un extremo del segmento al otro y que puede expresarse en término de tiempo.

Podemos entender la impedancia (minutos) como una relación entre la distancia (m) y la velocidad (Km/h):

$$I_{(\text{min})} = \frac{\text{Longitud (m)} * 60}{\text{Vel (km/h)} * 1000} = \text{Longitud} * 0.06 / \text{Vel (km/h)}$$

Recordando que 1 hora equivale a 60 minutos y que 1 kilómetro equivale a 1000 metros

Cabe remarcar entonces que lo más importante a la hora de realizar un análisis de redes es que la malla con la que se va a trabajar se encuentre estructurada de manera adecuada y sin errores topológicos que puedan entorpecer el análisis.

10. Ubicación de las torres de observación

La posición de las torres de observación es de una gran importancia en la labor de la prevención de incendios forestales ya que desde ellas el vigilante de la torre será capaz de:

- Observar la existencia de humo en la atmosfera y determinar en función del tipo de humo si existe la posibilidad de que provenga de un incendio forestal.
- Determinar en caso que exista un incendio la posición de éste.
- Dar la voz de alarma a los servicios de extinción.

Las torres de observación suelen medir de 20 a 30 metros de altura y suelen tener forma piramidal con el fin de evitar en lo posible el movimiento de oscilación, además, deben encontrarse en puntos del territorio elevados con el fin de maximizar la distancia de visión y alcance por parte del vigilante hacia el horizonte. Las torres de observación para un buen funcionamiento y efectividad deberían contar con un equipo de comunicación, un manual de procedimientos, planos de la extensión a vigilar con sus coordenadas para detectar claramente la ubicación del foco, toma de agua, panel solar, pararrayo, etc.

Para llevar a cabo el análisis que se presenta se ha utilizado por una parte, la información de la ubicación de la torres de observación de la zona de estudio facilitada por Bombers de la Generalitat, y por otra, un modelo digital del terreno (MDT).

El análisis mostrado a continuación, se ha basado principalmente en la herramienta de análisis *Viewshed*. Dicha herramienta trabaja sobre ficheros ráster (MDT) en los cuales se sitúa, para este caso, la posición de las torres de observación de que se dispone. Posteriormente, mediante *Viewshed* se atribuirá a cada celda o píxel del MDE un valor binario (0 o 1) que determinará si dicha celda es visible o no desde la torre de observación, y en función de la cantidad de píxeles visibles que se determinen desde diferentes ubicaciones se decidirá cuál es la posición más adecuada para la torre.