

**Instituto de Computación – Facultad de ingeniería
Universidad de la República**

SIGNEO-WEB

**SIG aplicado a la prevención de incendios
forestales**

Informe de Proyecto de Grado

**Presentado al tribunal evaluador como requisito de
graduación de la carrera Ingeniería en Computación**

Montevideo, Diciembre de 2010

Alejandro Silvera
Tutores: Raquel Sosa
Flavia Serra

Resumen

Uno de los principales problemas ecológicos a nivel mundial lo constituyen los incendios forestales. Nuestro país no es ajeno a esta problemática, de hecho, las altas temperaturas registradas fundamentalmente en épocas de verano, así como también las escasas lluvias muchas veces registradas en esa época, bajo índice de humedad y tipo de vegetación, hacen a nuestro país muy sensible a esta problemática.

Respecto a este problema, el Laboratorio de Técnicas Aplicadas al Análisis del Territorio del Departamento de Geografía de la Facultad de Ciencias (Universidad de la República) hace ya algunos años viene investigando con el objetivo de generar conocimiento respecto al comportamiento de los incendios forestales en Uruguay. Dentro del estudio de estos fenómenos hay dos aspectos de particular relevancia: poder generar mejores indicadores de riesgo de incendio y poder predecir su evolución una vez iniciado. Esto será de ayuda al momento de toma de decisiones abocadas al diseño de estrategias para la prevención y combate de los mismos.

El presente proyecto se propone hacer un aporte tecnológico a dicho laboratorio, brindándole herramientas informáticas que faciliten la producción y publicación de información geográfica relativa a incendios forestales.

En el año 2008, un proyecto de grado realizado por estudiantes de la facultad de Ingeniería denominado SIGNEO, tuvo como resultado la implementación de un prototipo de sistema de información geográfica aplicado a incendios forestales. Este prototipo mostraba que era posible hacer una estimación de riesgo de incendio a nivel nacional a partir de una serie de datos de entrada provenientes de distintas fuentes y visualizando dicho índice mediante un mapa del territorio nacional. También era capaz de hacer una simulación de avance de un incendio predefinido. Para esto, el sistema se basaba en unos modelos (fórmulas de cálculo) ficticios creados por los estudiantes ya que en ese momento no se disponía de modelos que se acercaran a la realidad.

Para que el sistema resultara útil en la práctica, necesitaba implementar modelos reales y además se vio que era indispensable poder compartir la información generada para que sirviera a todos los involucrados en el tema.

Todo esto motivó el presente proyecto, que contó con dos etapas fundamentales.

En la primera etapa, se le incorporó al sistema dos modelos diseñados por docentes del Departamento de Geografía de la Facultad de Ciencias, uno para el cálculo del riesgo de incendio y otro para la simulación de la propagación. Estos modelos fueron implementados en el mismo lenguaje de programación del sistema (JAVA), también se le agregó al sistema, una extensión que facilita la publicación de mapas en servidores MapServer.

En una segunda etapa, se realizó un estudio para determinar si había alguna herramienta que permitiera publicar la información generada por el sistema en Internet,

así como también satisfacer otros requerimientos como por ejemplo el control de acceso ya que no toda la información generada sería de dominio público.

Luego de este estudio se seleccionó la herramienta llamada I3Geo, la cual tuvo que ser traducida al español ya que su idioma original era el Portugués además de ser modificada para cumplir con todos los requerimientos. Esta herramienta utiliza como servidor de mapas a MapServer.

Como resultado de este proyecto, se cuenta con una herramienta que a partir de datos reales obtenidos de distintas fuentes, permite elaborar una estimación del riesgo de incendio forestal adecuada para el territorio uruguayo. También brinda la posibilidad de realizar una simulación de avance de incendios que modela la realidad. Finalmente la información generada con la herramienta puede ser publicada en un servidor de mapas accesible desde Internet por diferentes tipos de usuarios. Esto brinda además una herramienta potente tanto de visualización como de análisis de la información.

Tabla de Contenidos.

Resumen.....	2
Capítulo 1.....	5
1.1 Motivación.....	5
1.2 Antecedentes.....	6
1.3 Objetivos.....	7
1.4 Descripción general del documento.....	7
Capítulo 2.....	9
2.1 Conceptos generales.....	9
2.2 Conceptos específicos.....	12
2.3 Modelos.....	14
2.4 Información y tipos de datos.....	16
2.5 SIGNEO y SIGNEO V2.....	17
Capítulo 3.....	19
3.1 Requerimientos.....	19
3.2 Software de base.....	22
3.3 Arquitectura de la solución.....	24
3.4 Flujo de datos.....	26
Capítulo 4.....	31
4.1 Implementación.....	31
4.2 Plan de pruebas.....	35
Capítulo 5.....	37
5.1 Resultados esperados.....	37
5.2 Resultados alcanzados.....	37
5.3 Dificultades encontradas.....	38
5.4 Conclusiones.....	38
5.5 Trabajos a futuro.....	39
Referencias.....	40
Anexo I.....	43

Capítulo 1.

1.1 Motivación

A nivel mundial, los desastres naturales se presentan cada vez con más frecuencia e intensidad, existe gran preocupación por los cambios climáticos que se están constatando como por ejemplo el calentamiento global, la disminución de la capa de ozono y otros, que tienen un gran impacto en los mismos.

Uruguay no es ajeno a esta problemática, sus características naturales lo hacen particularmente sensible a los incendios forestales. Existen factores como la forestación, las cada vez más frecuentes e intensas sequías, olas de calor y aumento del turismo que agravan dicha problemática.

Anualmente, sobretudo en épocas de mayor temperatura, es común que se registren grandes incendios forestales que causan importantes destrucciones en la flora y la fauna. Bosques nativos se ven arrasados, ecosistemas, la productividad de los suelos y hasta los paisajes se ven seriamente afectados.

Respecto a este problema, el Laboratorio de Técnicas Aplicadas al Análisis del Territorio del Departamento de Geografía de la Facultad de Ciencias (Universidad de la República) [1] hace ya algunos años, viene realizando investigaciones con el objetivo de generar conocimiento respecto al comportamiento de dichos incendios forestales y de esta forma poder generar mejores indicadores de riesgo de incendio, así como también una vez iniciado, poder predecir su evolución.

Todo esto será de gran ayuda al momento de toma de decisiones abocadas al diseño de estrategias para la prevención y combate de los mismos. Al contar con información territorial, es posible tomar mejores decisiones en cuanto a diseñar una estrategia preventiva al determinar zonas con mayor riesgo. Para de esta forma poder desarrollar en ellas, tareas como por ejemplo la limpieza de bosques o plantaciones, el raleo o la concientización de la población respecto a las zonas riesgosas para evitar quemas descontroladas.

La información que se obtiene de una simulación a futuro de la propagación de un incendio ya iniciado, resulta útil a la hora de implementar el combate del mismo para evaluar las zonas en peligro, el posicionamiento de recursos como personal de bomberos, carros de agua e incluso las zonas de acción de helicópteros. También es posible determinar la mejor zona para construir corta fuegos que resultan muy efectivos a la hora de controlar un incendio.

Para realizar éstas tareas, es útil contar con herramientas tecnológicas, particularmente se vio la necesidad de contar con herramientas informáticas que permitan realizar cálculos, como por ejemplo el Índice de Riesgo de Incendio. Estos cálculos se basan en una gran cantidad de datos de distintas fuentes, datos de meteorología, imágenes generadas a partir de sensores satelitales y estudios de campo.

No solo se necesita una herramienta que realice cálculos, sino que también es necesario contar con una forma de fácil entendimiento para visualizar dichos resultados, así como también la simulación de la propagación de incendios a lo largo del tiempo.

Todo esto motivó un contacto por parte del Departamento de Geografía de la Facultad de Ciencias con el Instituto de Computación de la Facultad de Ingeniería para un trabajo en conjunto en el desarrollo de la aplicación requerida. Este proyecto de grado forma parte de ese trabajo.

1.2 Antecedentes

Durante el año 2008 se llevó a cabo un proyecto llamado SIGNEO[2] en el marco del proyecto de grado de la carrera de Ingeniería en Computación de La Facultad de Ingeniería. El objetivo de dicho proyecto, fue desarrollar una herramienta que fuera un Sistema de Información Geográfica(SIG) que permitiera obtener un indicador de riesgo de incendio relativo a distintas zonas y generar una simulación de propagación de un incendio en un tiempo determinado dada la ubicación de un foco ígneo.

La intención no era desarrollar un SIG desde cero, sino que mas bien el trabajo consistió en seleccionar una plataforma que ya fuera un SIG, a la cual se le acoplaría una extensión para cumplir con estos requerimientos específicos.

La plataforma seleccionada debía cumplir con las siguientes características:

- Ser software libre
- Ser multiplataforma
- Estar diseñada para ser extensible
- Existencia de documentación tanto para usuarios como para desarrolladores
- Existencia de una comunidad de desarrolladores lo más amplia posible
- Cumpliera con los estándares del OGC [3]
- En lo posible con soporte para idioma español

La plataforma base seleccionada por ese proyecto fue gvSIG versión 1.1.2. [4]

Esta plataforma no contaba con muchas funcionalidades para el manejo de capas Raster, se suplió tal carencia acoplándole una extensión llamada Sextante v0.52 [5].

Como resultado del proyecto, se implementó una herramienta que cumplía con dos requerimientos fundamentales:

- Calcular un índice de riesgo de incendio georreferenciado
- Simular la propagación de un foco ígneo a lo largo del tiempo.

Sin embargo, los cálculos para estas funcionalidades deben estar basados en unos modelos matemáticos complejos, éstos deben ser elaborados luego de un trabajo para nada trivial por parte de especialistas y basándose en las condiciones de nuestro país. Estos modelos no estaban disponibles al momento de realizar el proyecto.

Tomando en cuenta lo anterior, el sistema SIGNEO se desarrolló en base a modelos de prueba ficticios elaborados por los estudiantes del proyecto. Se tuvo en cuenta que la herramienta permitiera, de forma sencilla, la incorporación de nuevos modelos que se desarrollaran en el futuro, trabajo que quedó a cargo del Departamento de Geografía de la Facultad de Ciencias.

1.3 Objetivos

El objetivo de este proyecto es continuar con el trabajo iniciado en el 2008 por el proyecto que generó SIGNEO.

Se plantean los siguientes objetivos:

- Incorporarle a SIGNEO los algoritmos necesarios para implementar los siguientes modelos:
 - Índice de Riesgo de Incendio
 - Propagación de Incendio
- Desarrollar un sistema que permita publicar la información generada y brindar la posibilidad a los usuarios de acceder a la misma a través Internet. Además se requiere que contenga algún mecanismo de control de acceso para identificar al usuario y mostrarle la información según su perfil.

1.4 Descripción general del documento

En el Capítulo 2 se introducen algunos conceptos que ayudan a entender el trabajo. Se explica lo que se entiende por modelo de cálculo de índice de riesgo de incendio y modelo de predicción de la propagación de un incendio. Se comentan los tipos de datos y la información que sirve de entrada para una herramienta como la que se desarrolla. Se da una descripción concreta de la herramienta SIGNEO y de su segunda versión SIGNEO V2.

En el capítulo 3 se especifican los requerimientos relevados con el cliente. Se plantea la necesidad de investigar herramientas de uso libre dedicadas a la publicación de mapas en Internet que faciliten la visualización y que brinden funcionalidades de análisis espacial y manejo de usuarios. Se dan a conocer además, las herramientas utilizadas en el desarrollo de los módulos requeridos.

En el capítulo 4 se presentan los módulos desarrollados para cubrir las funcionalidades requeridas en cuanto a los modelos de cálculo. Se explican detalles de la herramienta seleccionada para la publicación de los mapas en Internet. También se presenta el trabajo realizado sobre ella para adaptarla a los requerimientos de organización de la información y al manejo de usuarios junto con los permisos asociados a éstos. Se detallan las pruebas de rendimiento y validación de los cálculos realizados.

En el capítulo 5 se comentan los resultados alcanzados y las dificultades encontradas, las conclusiones sobre la forma de trabajo y las posibles aplicaciones y mejoras que se podrían realizar.

Capítulo 2

En este capítulo se introducen los conceptos necesarios para un mejor entendimiento del trabajo realizado. Se brinda una descripción de qué es un modelo de cálculo de riesgo de incendio. También a que nos referimos con una simulación de propagación de un foco ígneo dado.

Se detallan algunos de los tipos de información que sirven de base de entrada para el cálculo de nuestra herramienta. Finalmente se incluye un breve resumen de proyectos relacionados desarrollados en el marco de Proyecto de Grado de la carrera de Ingeniero en Computación por parte de otros estudiantes de la Facultad de Ingeniería.

2.1 Conceptos generales

2.1.1 Sistema de Información Geográfica (SIG)

“Un Sistema de Información Geográfica (SIG o GIS, en su acrónimo inglés [Geographic Information System]) integra hardware, software y datos para capturar, gestionar, analizar y desplegar todo tipo de información geográficamente referenciada. Nos permite visualizar, comprender, cuestionar e interpretar datos de muchas maneras, lo cual puede revelar relaciones, patrones y tendencias, en forma de mapas, globos, reportes y gráficos.

Un SIG nos permite responder preguntas y resolver problemas observando los datos de una forma tal que es rápidamente comprensible y fácilmente compartible.” (Sistemas de Evaluación de Peligro de Incendios) [6]

Lo que lo diferencia de un sistema de información tradicional, es que permite utilizar datos geográficos, es decir, datos que están asociados a una ubicación geográfica y además brinda la posibilidad de visualizar esos datos en forma de mapas. Esto para determinadas aplicaciones, significa una enorme ventaja en cuanto a la facilidad en la interpretación y análisis de los datos. Un SIG también proporciona herramientas para trabajar con los datos por medio de consultas (como por ejemplo: qué elementos se encuentran cerca de cierta ubicación, cual es la distancia entre dos elementos, etc), cálculos, y otras posibilidades más avanzadas y siempre con la posibilidad de visualizar en forma gráfica los resultados.

2.1.2 Capas de información

La razón fundamental para utilizar un SIG es el manejo de información espacial. Este tipo de información se maneja en lo que se conoce como “capas”. Estas son almacenadas en forma independiente, permitiendo trabajar con ellas de forma rápida y sencilla. Se facilita la forma de relacionar la información existente en cada una de ellas y entre ellas a través de la topología de los objetos.

Podemos definir “capa de información” como un elemento que agrupa a un conjunto de datos y que tiene asociado algún sistema de proyección [7] y [8]. Una capa representa a alguna porción de la superficie terrestre por lo que en la realidad tiene una representación en 3D.

Para poder visualizarla en las computadoras actuales, que nos ofrecen una visión 2D, se debe proyectar esa capa en un plano. Para esto existen diferentes sistemas de proyección que sirven a diversos propósitos, e incluso dependen de la zona del globo que se trate.

Los elementos que pertenecen a una capa, estarán por lo tanto proyectados en la misma proyección de la capa. Esto afecta la forma en que se visualizan.

Cualquier parte de la superficie del globo, por ejemplo la forma y tamaño de un país puede verse diferente según la proyección que se utilice. Por lo general el usuario escogerá la proyección que mejor represente la porción del globo sobre la que está trabajando.

Las capas de información se clasifican en:

- **Capa Vectorial**

Los datos vectoriales, representan elementos como puntos, líneas y polígonos, y se aplican mejor a elementos discretos cuya forma y frontera están bien definidas (como puede ser una manzana de una ciudad).

Cada una de estas geometrías, puede tener información asociada que se almacena en tablas en una base de datos. Por lo tanto, no solo contamos con la representación visual del elemento y su ubicación geográfica, sino que además podemos guardar toda la información alfanumérica perteneciente a un dominio.

Entre las operaciones espaciales, podemos nombrar a modo de ejemplo, la de obtener los elementos que están incluidos dentro de otro, la intersección de dos o más elementos o todos los elementos que se encuentran dentro de cierto radio respecto de otro elemento.

- **Capa Raster**

Un tipo de datos raster, es en esencia cualquier tipo de imagen digital representada en una malla. Este modelo, también llamado de retícula, divide el espacio en celdas regulares. Se puede pensar a una capa raster, como una matriz donde cada celda tiene un valor. A su vez, cada capa, puede estar compuesta por una o más bandas. Entonces, cada celda representa un único valor por banda. La representación en raster, se centra en las propiedades de la superficie más que en la precisión de la localización. Las fuentes de datos más comunes para tener una capa raster, son las imágenes satelitales o aéreas.

En la siguiente imagen, pueden observarse ejemplos de información contenida en los dos tipos de capas:

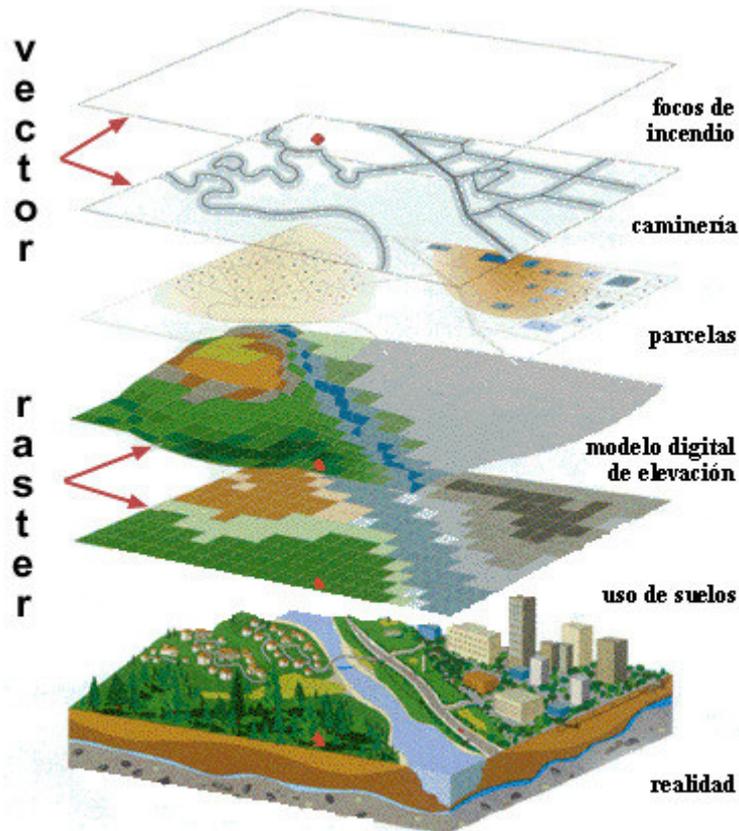


Fig. 1: Ejemplo de representación de información geográfica en capas vectoriales y raster. Por más información sobre estos conceptos se puede consultar [9]

2.1.3 Servidor de mapas

Un servidor de mapas es una plataforma destinada a brindar acceso vía Web a través de protocolos estándares a diferentes tipos de información geoespacial existente [10]. Los distintos servicios que brindan estos servidores son:

- **Servicios de mapas:** Reciben peticiones por parte de clientes, acceden a información vectorial (gráfica y alfanumérica) y/o ráster, y generan imágenes de mapas que se sirven a un cliente en forma de imágenes ráster (PNG, JPEG, GIF), o bien responden a peticiones de acceso a información relacionada con mapas servidos, como propiedades de un elemento, etc.
- **Servicios de geometrías:** Sirven información geoespacial en formato vectorial, incluyendo geometrías y atributos alfanuméricos, para que el cliente las procese y represente o maneje en local.
- **Servicios de coberturas:** Sirven información geoespacial de diferentes tipos a los clientes, con la particularidad de ofrecer la información original sin necesidad de que sea procesada. Esto es útil para acceso a datos como modelos digitales del terreno, ficheros de información de teledetección, etc.
- **Servicios de catálogo:** Ofrecen acceso a metadatos y búsqueda de información sobre cartografía.

- **Servicios de procesamiento:** Ofrecen el procesamiento de información geoespacial en el lado del servidor, enviando los resultados finales a los clientes. (cálculo de rutas, análisis, etc.).

2.1.4 Visualizador de mapas Web

Un visualizador de mapas, es una herramienta Web interactiva que permite hacer consultas a un servidor de mapas y mostrar datos geográficos digitales. Por medio de esta herramienta, se tiene la posibilidad de visualizar las capas de información que se requieran (activándolas y desactivándolas). Permite mostrar la información en diferentes niveles de acercamiento, hacer consultas, sobreponer información, incluir puntos de referencia, generando un mapa de acorde a las necesidades del usuario. [11]

2.2 Conceptos específicos

2.2.1 Incendio forestal

Es un fuego violento que se desarrolla sin control en un espacio abierto, afectando la superficie vegetal del mismo. Se clasifica generalmente en función del combustible que facilita su avance y asegura su alimentación.

Según el tipo de vegetación, el incendio puede involucrar los siguientes estratos:

- De suelo
- De superficie,
- De copa
- Integral

Los incendios de suelo, son aquellos que consumen la materia orgánica que se encuentra entre la superficie y la capa mineral del suelo. Esta materia está compuesta de hojarasca, raíces, residuos vegetales en descomposición, humus y turba.

Los incendios de superficie, consumen cualquier tipo de material combustible que se encuentre situado inmediatamente encima de la superficie del terreno y por debajo de las copas de los árboles. Comprende mayoritariamente hojarasca, ramas muertas, agujas, troncos caídos, restos de talas, vegetación herbácea y matorrales. Su comportamiento depende de la tipología de la vegetación involucrada.

Los incendios de copa originan la combustión de las copas de los árboles. La violencia de este tipo de incendio dependerá de las condiciones meteorológicas y topográficas, de la posición relativa de los combustibles en los distintos estratos, de la cantidad y disposición del combustible aéreo y del porcentaje de combustible seco y fino que presenten las copas.

Los incendios de suelo, superficie y copas, pueden darse en forma conjunta o sucesiva en el curso de un incendio forestal. Ésta situación da lugar a los incendios integrales que afectan a todos los estratos de un sistema vegetal.

La continuidad vertical y horizontal del combustible, en formaciones boscosas y arbustivas, garantiza que ante la aparición de un incendio, su carácter sea integral.

Los incendios forestales se generan a partir de una compleja interacción entre condiciones ambientales y fuentes de ignición.

El manejo de los recursos vegetales, requiere el conocimiento de la respuesta del fuego a variaciones ambientales locales, entre las que se pueden incluir la información de la

vegetación, del lugar así como también las condiciones meteorológicas y topográficas. Por mas información consultar [12].

2.2.2 Vegetación

El conocimiento de la vegetación existente en un predio, nos permite determinar, considerándola como un potencial combustible, cual es la velocidad con que se consumirá fijando el resto de los factores influyentes en la propagación. La información relevante es el tipo de vegetación, la edad, la altura y el estado sanitario.

Esta información es la que brinda la idea más ajustada de la velocidad de propagación.

Un factor negativo de incluir esta información es que implica el censo continuo de los predios.

Los combustibles vegetales, pueden retardar la propagación del incendio o contribuir a su propagación en función de su contenido hídrico.

Se considera al índice verde o Índice de Vegetación en Diferencias Normalizadas (NDVI por sus siglas en inglés), como una medida de la humedad contenida en la vegetación. Por más información se puede consultar [13].

2.2.3 Índice de peligro meteorológico

Es un indicador del peligro de ocurrencia de un incendio considerando, exclusivamente, la contribución de factores meteorológicos. Cada una de las variables utilizadas, explica un determinado porcentaje del peligro total de inicio del incendio.

Por este motivo, se obtiene el valor del índice mediante un esquema de cálculo aplicado a las variables.

Las variables consideradas, pueden ser del momento, como la temperatura, la humedad relativa y la velocidad del viento, complementadas además, con factores ambientales acumulativos como la estacionalidad y la sequía.

Cada índice puede tomar distintas variables meteorológicas, de acuerdo a como haya sido diseñado. Por mas información consultar [14].

2.2.4 Índice de riesgo de inicio de incendio

Representa la probabilidad de que se inicie un incendio en determinado lugar. Dicha probabilidad, se obtiene mediante la aplicación de un cálculo a los valores del índice de peligro meteorológico con la información del índice verde y los combustibles presentes en el sector considerado.

La elección del índice a utilizar en un país, depende de las características geográficas, meteorológicas y de vegetación del mismo.

2.2.5 Cortafuego

Los cortafuegos son áreas sin combustibles que sirven para evitar la propagación de un incendio. Pueden ser diseñados de forma preventiva, o pueden ser creados como medida de combate, es decir en el momento en que se desarrolla un incendio.

El diseño de espacios cortafuego dentro de las plantaciones forestales, favorece las acciones de protección de las mismas por proveer un rápido acceso para el manejo de una situación de incendio.

La creación de un cortafuego, mientras se produce un incendio forestal, se realiza con la apertura de zonas con maquinaria pesada mediante el apeo de árboles o lanzando agua sobre las llamas desde aviones y/o helicópteros. Por mas información consultar [15].

2.2.6 Propagación de incendios

Para predecir el comportamiento del incendio, se realiza una estimación de la velocidad de propagación de la cabeza del mismo. Esta estimación considera el consumo de los combustibles y la intensidad del fuego, para un momento y lugar determinados. Se necesita información sobre los combustibles, los datos meteorológicos y la topografía.

2.3 Modelos

Para determinar los sitios con mayor probabilidad de inicio de incendio, se necesita una fórmula que combine un conjunto de datos de entrada para obtener la probabilidad buscada como salida.

Dicha fórmula está dada por un modelo matemático derivado de estudios científicos. Este modelo, considera las propiedades de los combustibles como factor determinante en la reacción que tienen los mismos ante situaciones meteorológicas favorables al inicio de incendios.

Por otro lado, para predecir la propagación del incendio dado un foco ígneo, se necesitan fórmulas que combinen otro conjunto de datos de entrada para obtener el desplazamiento futuro del incendio como salida. Dicha fórmula, como en el caso anterior, está dada por un modelo matemático.

Este modelo puede considerar la información de pendiente y la dirección y velocidad del viento además de las características de los combustibles que impulsan o frenan el avance del incendio.

Existen varios modelos matemáticos que dependen tanto de las fórmulas, como del tipo de información que manejan las mismas.

Como ejemplos de modelos se pueden citar los siguientes:

- El índice de peligro de propagación de Rodríguez y Moretti desarrollado para la región Andino Patagónica. Este considera la temperatura, la humedad relativa, el viento y los días consecutivos con o sin precipitación. Las dos primeras representan el contenido de la humedad y la resistencia de los combustibles a la ignición.
- El índice de Nesterov se ajusta a las condiciones climatológicas de los países de la antigua Unión Soviética. Es usado como un índice de ignición en el área de cobertura de una determinada estación meteorológica. Los cálculos se inician en la primavera, una vez que la temperatura superó los 0°C y la nieve se ha derretido. Una precipitación mayor a 3 mm reduce el valor del índice a cero y el cálculo se reinicia.
- El índice Portugués, desarrollado por el instituto Nacional de Meteorología y Geofísica de Portugal, es una versión modificada del índice de Nesterov. Está basado en la evaluación de las condiciones atmosféricas en las proximidades de los combustibles y está compuesta de tres indicadores numéricos:
 - El índice de ignición.

- La suma de los valores del primero desde el comienzo de la temporada de incendios corregida por las precipitaciones de los días previos.
 - El índice de peligro de incendio final que suma los dos anteriores
 - introduciendo una corrección dada por la velocidad del viento.
- El Método ICONA es usado por el Instituto Nacional Español para la conservación de la Naturaleza. Es un método no acumulativo que define el riesgo de ignición. Considera como entrada los datos de temperatura del aire, humedad relativa, velocidad y tipo de viento, cobertura de tierra por vegetación o por nubes, pendiente y orientación.

Se puede citar sistemas compuestos por varios índices como es el siguiente:

- El sistema de evaluación de peligro de incendios canadiense está formado por los siguientes subsistemas:
 - Índice meteorológico de peligros de incendios que consiste en un conjunto de ecuaciones. Estas ecuaciones tienen como datos de entrada meteorológicos la humedad relativa, la temperatura, la velocidad del viento y la lluvia. Es un buen indicador de diferentes aspectos del fuego.
 - Subsistema de predicción de comportamiento del fuego con el que se estima su comportamiento considerando estimaciones de la velocidad de propagación de la cabeza del incendio, el consumo de los combustibles y la intensidad del fuego para un momento y lugar determinados. Para esto se necesitan datos de los combustibles, meteorológicos y topográficos.

Además de los dos subsistemas de predicción de ocurrencia de incendios forestales y el subsistema accesorio de humedad de combustibles que se encuentran actualmente en reformulación y desarrollo.

Los índices complementarios [16] son los índices de sequía, los de estabilidad atmosférica o los de vegetación.

Los modelos pueden aplicarse a varios países si éstos presentan condiciones climatológicas similares. Por más información consultar [17], [18], [19].

En Uruguay se está investigando con el objetivo de obtener un modelo aplicable a sus condiciones climáticas y de terreno. El Departamento de Geografía de la Facultad de Ciencias, trabaja en el desarrollo de un modelo para el cálculo de índice de riesgo de incendio y otro para la simulación de la propagación.

El modelo para el índice de riesgo de incendio, toma en cuenta varios datos ambientales. Podemos mencionar por ejemplo, la temperatura y humedad, el NDVI y otros datos derivados del mismo y la humedad relativa. Permite estimar el riesgo de inicio de incendios forestales.

El modelo para la predicción de la propagación de un incendio, dado un conjunto de focos ígneos, predice cómo evolucionará el incendio. Es decir, en qué direcciones y a qué velocidad avanzará.

Toma en cuenta algunos datos ambientales que también son utilizados para el índice, pero además tiene en cuenta por ejemplo la velocidad y dirección del viento y las pendientes del terreno.

Un dato fundamental para este modelo son los focos ígneos, ya que el modelo trabaja a partir de un incendio que ya ha comenzado. El modelo de propagación genera datos de salida cada cierto tiempo determinado por el usuario (por ejemplo 30 minutos). De esta forma, al observar los distintos datos generados, podremos ver como se desplaza el fuego desde sus orígenes.

2.4 Información y tipos de datos

Los datos de entrada para el sistema, se pueden clasificar en dos grupos, de acuerdo a su tiempo de actualización: datos estáticos y datos dinámicos.

Por datos estáticos podemos considerar aquellos que no requieren una actualización periódica, como es el caso del modelo digital del terreno (MDT), el cual representa las diferentes alturas del terreno en una zona, las cuales no cambian en largos períodos de tiempo.

Por datos dinámicos, se entiende aquellos que probablemente sea necesario actualizar con cierta frecuencia que puede ir de días a semanas o meses. Un ejemplo son los datos meteorológicos como temperatura y viento.

2.4.1 Datos estáticos

En nuestro caso concreto, los datos estáticos que se utilizan son el MDT y el modelo de combustibles. El MDT se representa mediante una imagen raster en la cual cada celda contiene un valor de altura con respecto al nivel del mar. Al visualizar esta imagen, los diferentes colores nos informan como va variando la altura del terreno.

Mediante operaciones aplicables a capas raster, se puede obtener a partir de esos valores, el valor de la pendiente en cada punto. Este valor se utiliza para la predicción de la propagación del incendio.

El otro dato estático es el modelo de combustibles, ellos describen características físicas de la vegetación en su conjunto. Las tipologías están integradas por distintas características de la vegetación: carga de biomasa, altura de la vegetación o de los diferentes estratos que la componen, el contenido de humedad promedio, etc.

Se obtienen por medio de la interpretación de imágenes satelitales, en las que se identifican las diferentes coberturas y luego se reclasifican según el tipo al que correspondan: pastos, arbustos o matorrales, hojarasca bajo arbolado y restos de corte forestal (poda, raleo o cosecha).

Estos datos también se representan como una imagen raster. Al igual que el anterior puede ser utilizado para el cálculo de la propagación de un incendio.

2.4.2 Datos dinámicos

Los datos dinámicos que utilizamos son: datos meteorológicos (viento, temperatura, humedad) y el NDVI. Los datos meteorológicos se obtienen como un archivo de texto con un formato definido. Este archivo contiene el pronóstico para varios días en varios puntos del país. Proporciona información sobre temperatura, humedad relativa, intensidad y dirección del viento y total de precipitaciones en la últimas 3 horas (este último dato no se usa en los modelos actuales). Algunos datos de este archivo son procesados para generar rasters. Es el caso de la temperatura y la humedad. Esto se hace porque para esos datos en particular se facilita su manipulación.

Para obtener el NDVI primero se debe descargar una imagen satelital y luego procesarla. Este proceso arroja una imagen raster que representa el NDVI. Una vez que

se tiene el NDVI, a partir de este se puede calcular el NDVI máximo y mínimo históricos, así como otros datos derivados.

Los datos que acabamos de mencionar a modo de ejemplo, ya sean estáticos como dinámicos, son parte de los datos que requieren los modelos que se utilizan para hacer los cálculos en el producto final de este trabajo.

2.5 SIGNEO y SIGNEO V2

SIGNEO es una herramienta desarrollada por estudiantes de Ingeniería en Computación de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de la República. Se tomó como base para el desarrollo, el sistema gvSIG, al que se le incorporaron nuevas funcionalidades como extensiones mediante el uso de Sextante. SIGNEO le incorporó dos funcionalidades fundamentales las cuales permiten calcular el índice de riesgo de incendio y la simulación de la propagación de uno o varios focos ígneos. Fue pensada para ser un contenedor de algoritmos que implementen los modelos de cálculo y sus parámetros para cumplir con esas funcionalidades.

Al momento de finalizado ese proyecto, no se disponía aún de los modelos de cálculo necesarios como para que dichos resultados modelaran la realidad de Uruguay y en los cuales aún se encontraba trabajando los Docentes de la Facultad de Ciencias.

Por tal motivo, se le incorporaron a la herramienta, modelos de cálculo ficticios inventados por los estudiantes para que se pudiera demostrar su funcionamiento dejando claramente definida la forma en que fácilmente se podrían incorporar nuevos modelos diseñados en el futuro.

Este sistema fue un avance significativo en cuanto a lograr los objetivos planteados referentes a contar con una herramienta capaz de realizar los cálculos necesarios y visualizarlos en forma correcta. Sentó las bases sobre las cuales, se continuó trabajando en el proyecto SIGNEO V2 y en el presente proyecto.

La segunda versión de SIGNEO llamada SIGNEO V2, también fue desarrollada por estudiantes de la Facultad de Ingeniería en el marco de su Proyecto de Grado de la carrera de Ingeniero en Computación.

Dentro de los objetivos fundamentales de este trabajo, se encontraba el de actualizar SIGNEO a una nueva versión del sistema base sobre el cual se implementaba, gvSIG versión 1.1.2. SIGNEO V2 por su parte, fue actualizada para ser una extensión de la versión 1.9 de gvSIG y a una versión de sextante 0.5 (extensión de gvSIG de la cual se utilizan varias funcionalidades fundamentalmente para el manejo de capas del tipo raster). Esta nueva versión de SIGNEO, mejoró las interfaces y la forma de trabajar con ella haciéndola mas amigable con el usuario.

Otro grupo de funcionalidades muy importantes con las cuales contó esta nueva versión, son las referidas a la obtención de datos en forma automática, ya sea a través Internet o por el procesamiento de archivos provenientes del área de meteorología de la Facultad de Ciencias, los cuales son utilizados por los nuevos modelos de cálculo que luego se implementarían e incorporarían a la herramienta. SIGNEO V2, al igual que la versión previa, sigue siendo paramétrico en los modelos que permite ejecutar. Esto permite que el equipo del Departamento de Geografía pueda probar varios índices para comparar sus resultados y poder avanzar en el desarrollo de nuevos modelos.

Capítulo 3

En este capítulo se especifican los requerimientos relevados con el cliente y se presenta el software de base utilizado (SIGNEO V2). Luego se describe el diseño de la solución detallando sus módulos, la forma de integrar las herramientas utilizadas y las modificaciones que se le practicaron con el fin de cumplir con los requerimientos planteados. Se muestran además algunos diagramas de flujo de datos. Por más detalle respecto a los requerimientos, referirse al documento [20]

3.1 Requerimientos

Dado del trabajo realizado por los estudiantes y que dio como resultado la herramienta SIGNEO, se continuó con el trabajo con la finalidad de continuar con el desarrollo de dicha herramienta. El trabajo se enfocó en dos grandes aspectos:

- **Modelos de cálculo que representaran la realidad.**

Por no contarse con modelos que representaran de alguna manera la realidad al momento de finalizar el proyecto que desarrolló la herramienta SIGNEO, se le incorporó por parte de los estudiantes, un modelo diseñado con el solo fin de demostrar el funcionamiento de la herramienta, pero que no modelaba de ninguna manera la realidad. Trabajos subsiguientes debían continuar el desarrollo en este sentido dotándola de modelos de cálculo que intentaran modelar la realidad lo mejor posible. Incorporarle esos modelos es uno de los objetivos del presente proyecto.

- **Difusión de la información generada.**

La información generada por la herramienta SIGNEO, resulta de gran valor a la hora de diseñar políticas de prevención de incendios, así también como a la hora de combatirlos, sin embargo, dicha información, para que pueda ser utilizada por todos los actores abocados a esta tarea, debe ser difundida de una manera rápida y sencilla para que llegue a manos de todos.

Teniendo en cuenta estas dos áreas de trabajo, es que se diseñan los requerimientos para este trabajo que se detallan a continuación y que darán como resultado, una herramienta llamada SIGNEO-WEB.

SIGNEO-WEB será una herramienta que posibilite la publicación de la información generada por la herramienta SIGNEO con los nuevos modelos de cálculo, haciendo que ésta sea accesible desde cualquier computadora que tenga acceso a Internet.

3.1.1 Requerimientos funcionales

El sistema deberá implementar las siguientes funcionalidades:

- **Realizar cálculos.** Se debe brindar la posibilidad de realizar los cálculos necesarios para obtener el Índice de Riesgo de Incendio y de Propagación de Focos Ígneos, utilizando los modelos de cálculo diseñados con este fin.

- **Publicación de mapas.** El sistema debe permitir la publicación de mapas en Internet. Un usuario con rol de administrador, especificará para cada mapa publicado, el nivel de acceso al mismo, es decir, que usuarios pueden visualizarlo de acuerdo al perfil que posean.
- **Autenticación:** Esta funcionalidad consiste en el ingreso y la validación de un usuario al sistema determinando el nivel de acceso que posee.
- **Menú:** Esta funcionalidad consiste en desplegar todas las opciones que tiene el sistema para un usuario específico de acuerdo a su nivel de acceso. El menú se desplegará una vez que el usuario se ha autenticado en el sistema.
Se desplegará también las capas de información por defecto que pueda tener cada nivel de acceso en el sistema. En el momento de la visualización de mapas, el usuario tendrá a su disposición las herramientas de visualización, como por ejemplo la posibilidad de hacer un acercamiento a ciertas áreas(zoom), el desplazar el mapa(Pan), etc. El usuario selecciona una opción del menú a lo cual el sistema despliega la pantalla correspondiente a la opción seleccionada
- **Cargar Mapa:** El usuario debe tener la posibilidad de cargar además de los mapas configurados como por defecto para su nivel de acceso, otros que están almacenados en el servidor de mapas y visualizarlos sobre la vista actual que posea. Estos mapas, estarán organizados de acuerdo a su tipo (riesgo de incendio, propagación) y la fecha asociada.

El usuario selecciona la funcionalidad “Cargar Mapa” del menú y el sistema presentará un listado de todos los mapas disponibles en el servidor de mapas y que están permitidos para el nivel de acceso que posee el usuario autenticado.
El usuario tendrá la opción de visualizar el mapa seleccionado.

También se tendrá la opción de cargar un mapa desde su propia máquina o desde otras ubicaciones externas al sistema, por ejemplo servidores de mapas pertenecientes a otras instituciones como GoogleMaps [21].

- **Descargar Mapa:** Esta funcionalidad permitirá al usuario guardar en su computadora en una ruta específica, un archivo conteniendo uno de los mapas que está visualizando actualmente.
- **Visualización secuencial de capas (evolución de incendios):** Esta funcionalidad permitirá al usuario visualizar dos o más mapas de predicción de avance de incendio en orden cronológico y con intervalo de algunos segundos entre ellos, esto oficiará como una simulación de avance del incendio en tiempo acelerado.

3.1.2 Requerimientos no funcionales

Además de los requerimientos en cuanto a las funcionalidades que debe poseer el sistema, deberá además cumplir con los siguientes requerimientos:

- **Servidor:** Para garantizar compatibilidad tanto con las instalaciones disponibles por el cliente así como también con herramientas a utilizar en el sistema, se utilizará como servidor Web el Apache Server [22]
- **Cliente:** El sistema deberá garantizar el correcto funcionamiento accediendo al mismo a través de Internet por intermedio de los exploradores “Internet Explorer” y “Firefox”
-
- **Plataforma:** El sistema deberá poseer la característica de ser multiplataforma , es decir que podrá ser ejecutado tanto en un ambiente Windows como en un ambiente Linux, en particular en la distribución Debian que es la utilizada en las máquinas del cliente
- **Lenguaje de programación:** Para garantizar la característica de ser multiplataforma y mantener la homogeneidad con el sistema SIGNEO con el cual se interactuará, el lenguaje de programación a utilizar deberá ser Java.
- **Seguridad:** El sistema deberá garantizar un medio seguro de acceso a la información de uso restringido. Cada usuario podrá acceder únicamente a la información destinada para él o de dominio público para lo cual, el usuario, deberá identificarse en el sistema de un modo seguro mediante nombre de usuario y contraseña.
De existir información restringida en el sistema, solo podrán acceder a la misma, los usuarios que explícitamente se lo permita su nivel de acceso.
- **Estándares:** En este proyecto se seguirán los estándares propuestos por el OGC [3]
- **Licencias:** Por expresa solicitud por parte del cliente, el sistema deberá ser basado íntegramente en software de distribución libre.

3.1.3 Requerimientos de documentación

La documentación requerida para el proyecto es la siguiente:

- **Manual de Usuario:** Será necesaria la elaboración de un manual de usuario. Este manual tendrá la información necesaria para la correcta ejecución de cualquier funcionalidad disponible en el sistema. Se utilizará la captura de pantallas para lograr un manual de fácil uso mostrando como acceder a las funcionalidades que brinda el sistema y ejemplos de uso.
- **Guías de instalación, configuración y archivo Léame:** Se elaborará una guía de instalación y configuración de todos los componentes del sistema, por ejemplo, Páginas Web, Base de datos, Servidor de mapas, etc. Se elaborará un archivo Léame para estos componentes del sistema.
- **Manual de programador:** Se espera que el proyecto pueda ser extendido por lo que se requiere la generación de un Manual de programador.

3.2 Software de base

3.2.1 SIGNEO y SIGNEOV2

Este proyecto toma como base la herramienta SIGNEO. En una etapa posterior, se adopta la nueva versión de la misma llamada SIGNEO V2. Ambas versiones están desarrolladas en el lenguaje de programación Java y utilizan como base a su vez las herramientas gvSig y Sextante. Brindan funcionalidades de un SIG, como por ejemplo cargar capas de información vectorial o raster en la vista, activar o desactivar capas, navegar por la vista (pan), posicionarse en la vista según un par de coordenadas, ampliar o reducir el área visible (zoom), buscar un objeto vectorial por su descripción, guardar la información de un proyecto, visualizar la información de un objeto, etc.

SIGNEO brinda la posibilidad de correr algoritmos para las dos funcionalidades de interés, pudiendo correr diferentes modelos de cálculo. Esto lo hace mediante el uso de mecanismos de reflection y configuración por archivos xml. Para poder agregarle nuevos modelos de cálculo se requiere la implementación de una clase Java que aplique las cuentas deseadas. Otra información adicional sobre los modelos están en un archivo xml de configuración.

SIGNEO V2 con la migración de versión hizo ajustes de arquitectura interna del sistema siguiendo la concepción de SIGNEO: ser un contenedor de modelos. Mejoró los tipos de modelos de cálculo soportados y la forma de configurarlos. Además brinda las siguientes funcionalidades para ser más amigable al usuario:

- **Acceso a la información meteorológica en forma remota.**
El sistema obtiene a través Internet un archivo que contiene la información meteorológica y que se ubica en un servidor del Área de Meteorología de la Facultad de Ciencias (UdelaR).
- **Cálculo del índice de riesgo de incendio para una fecha y zona determinada.**
Una vez ingresado los parámetros requeridos por el modelo para determinada fecha y la zona de estudio, el sistema calcula el índice de riesgo correspondiente a la fecha, en la zona dada.
- **Ingreso de parámetros para la predicción de la propagación de un incendio.**
El sistema determina los parámetros que el usuario debe ingresar según el modelo de propagación que esté utilizando. También valida que el usuario ingrese todos los parámetros requeridos.
- **Ingreso de focos ígneos.**
Permite el ingreso y la modificación de focos ígneos representados por puntos.
- **Predicción de la propagación del incendio.**

Una vez ingresados los parámetros requeridos por el modelo, los focos ígneos, el período, la frecuencia de evaluación y la frecuencia de resultados intermedios, el sistema calcula la propagación del incendio basándose en el modelo que dispone.

- **Descarga de archivos MODIS [23].**
Dada la URL (ubicación en Internet) del servidor, el tipo de satélite, el código de producto y la fecha requerida, el sistema descarga el archivo MODIS correspondiente.
- **Generación del NDVI:**
A partir de la información contenida en el archivo MODIS descargado, el sistema genera un raster con el NDVI.
- **Generación de raster con Temperatura.**
A partir del archivo con información meteorológica, el usuario debe ingresar una fecha, y el sistema genera una capa raster con la temperatura para esa fecha.
- **Generación de raster con Humedad.**
A partir del archivo con información meteorológica, el sistema genera una capa raster con la humedad ambiente.
- **Generación de NDVI Máximo Histórico y NDVI Máximo Histórico Absoluto.** A partir de una capa raster con el NDVI Máximo Histórico anterior y de otra capa con el NDVI actual, el sistema genera una nueva capa raster con el máximo, para cada celda, entre ambas capas.
- **Generación de NDVI Mínimo Histórico.**
A partir de una capa raster con el NDVI Mínimo Histórico anterior y de otra capa con el NDVI actual, el sistema genera una nueva capa raster con el mínimo, para cada celda, entre ambas capas.

3.2.2 MapServer

MapServer es un servidor de mapas que permite publicar datos espaciales y consultas desde aplicaciones interactivas vía Web. Corre sobre las principales plataformas como Windows, Linux y Mac OS X. [25] Posee las siguientes características:

- Servicios de mapas (WMS).
- Servicios de geometrías (WFS).
- Servicios de coberturas (WCS).
- Excelente rendimiento.
- Buen nivel de renderizado (generación de imágenes gráficas) de mapas.

Es uno de los servidores de mapas más conocidos en el mundo del Software Libre.

3.2.3 I3Geo

Es un visualizador de mapas que está desarrollado por el Ministerio del Medio Ambiente de Brasil [26] basado en software libre. Está destinado a visualización y análisis de datos geográficos, contando con herramientas de geoprocésamiento y funcionalidades complejas. No requiere la instalación de software de ningún tipo en la máquina del cliente, solo requiere de un navegador de Internet.

Posee las siguientes funcionalidades:

- Interfase zoom/pan
- Zoom/pan vía teclado, rueda de ratón, referencia de mapa, barra
- Funciones de consulta (Identificar, Seleccionar, Buscar)
- Función de medida de distancias y áreas
- Leyendas en HTML así como varios estilos de visualización de capas y leyendas
- Descarga de imágenes de mapas visualizados en distintas resoluciones y formatos
- Inicio de aplicación con extensión de zoom predefinida por extensión o capa
- Visualización secuencial de mapas según configuración
- Análisis de datos contenidos en tablas.
- Integración de otras herramientas como Google Earth y Google Map
- Geoprocésamientos que permiten generar nueva información geográfica

3.3 Arquitectura de la solución

En esta sección del documento se detalla la arquitectura de la solución implementada para cumplir con los requerimientos planteados.

Los requerimientos y por lo tanto la solución, se dividen en dos grandes grupos, los referentes a incorporarle los modelos de cálculo a la herramienta SIGNEO y los referentes a la publicación y distribución de la información generada.

3.3.1 Modelos de Cálculo

Para incorporar los modelos de cálculo a la herramienta SIGNEO, se implementaron dos módulos los cuales se acoplaron a la herramienta y son utilizados por ésta para realizar los cálculos referentes al Riesgo de Índice de Riesgo de Incendio y Simulación de la Propagación de Focos ígneos [ver fig. 2].

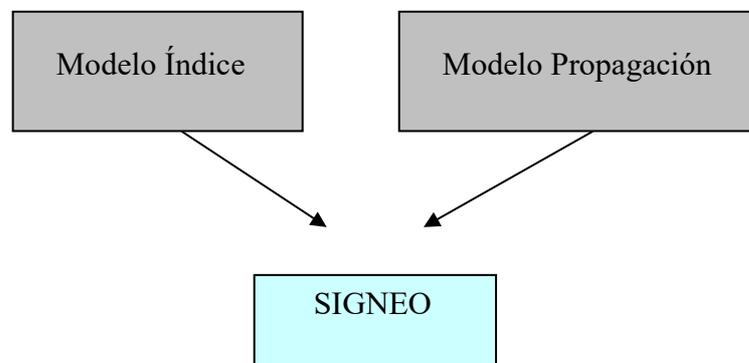


Figura 2. Esquema de los módulos incorporados a SIGNEO

Para ver en detalle la especificación de los modelos implementados, referirse al documento [Anexo I]

Los módulos son los siguientes:

- **Modelo Índice**

Este módulo fue implementado mediante una clase Java, es invocado por el sistema al momento de realizar los cálculos del Índice de riesgo de Incendio. Después de ser invocado por el sistema pasándole los datos necesarios, éste módulo realiza los cálculos y retorna al sistema el valor correspondiente al índice de riesgo, el sistema con todos estos datos genera una capa de datos del tipo raster para poder visualizarlos.

- **Modelo Propagación**

De la misma forma que el modelo de Índice, este módulo también fue implementado mediante una clase Java con la finalidad de acoplarlo a la herramienta SIGNEO.

En este caso, basándose en los datos proporcionados por el sistema, este módulo determina las zonas que están en llamas y determina para las zonas contiguas, la hora pronosticada en que se prenderán fuego dada la simulación de avance.

3.3.2 Publicación de la información

Para cumplir con el objetivo de proporcionarle al usuario las herramientas necesarias para la difusión de la información generada con la herramienta SIGNEO, se realizó una investigación con la finalidad de determinar cual sería la mejor forma de llevar a cabo la implementación. De las herramientas disponibles, se determinó cual es la mejor para cumplir los requerimientos con un mínimo de modificaciones.

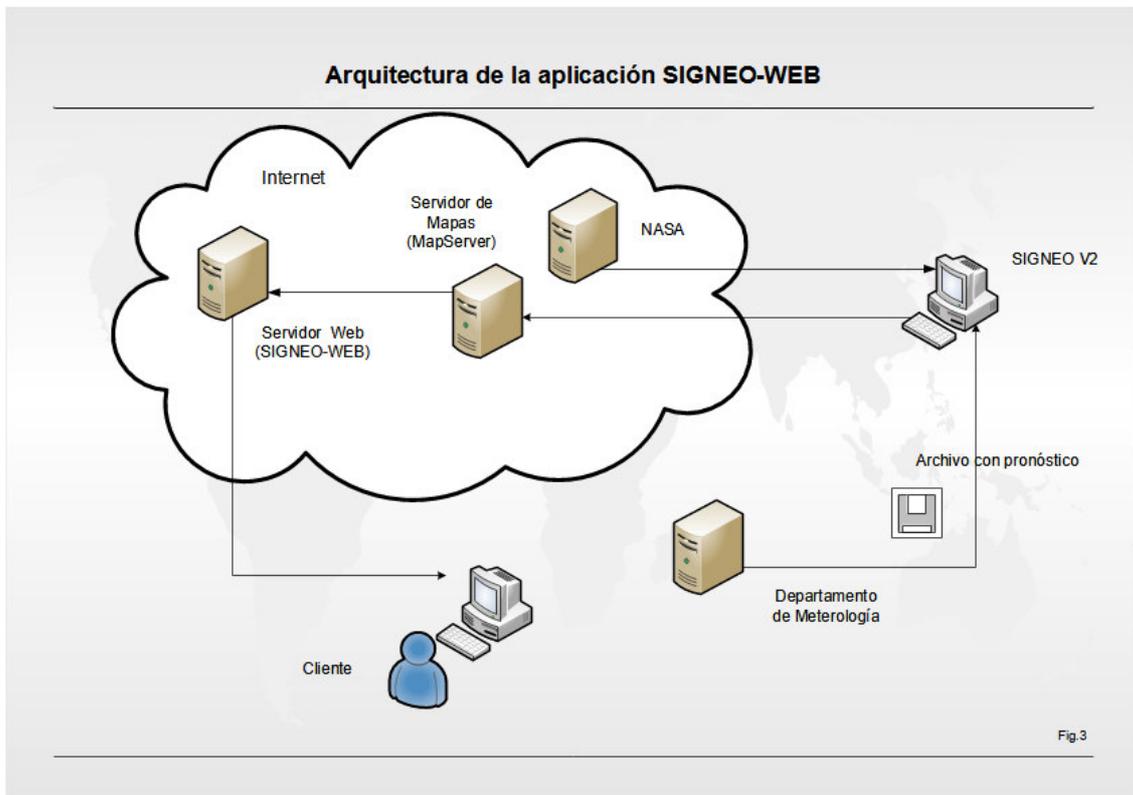


Fig 3. Arquitectura de componentes de la aplicación SIGNEO-WEB

La solución encontrada fue la que se detalla a continuación y que implicó la integración y modificación de varias herramientas (ver Fig. 3).

- **SIGNEOV2**
Con esta aplicación, el usuario obtiene de distintas fuentes la información requerida por los modelos de cálculo y lleva a cabo las operaciones necesarias para crear las capas de datos conteniendo el Índice de inicio de incendio y la propagación de los focos ígneos. Publica dichas capas de datos en un servidor de mapas, MapServer.
- **MapServer**
Todos los mapas generados con SIGNEO, serán almacenados en un servidor de mapas MapServer, el cual está disponible para la consulta de la información vía Internet.
- **Apache Server**
Es un servidor de aplicaciones, es el que se encarga de atender las peticiones formuladas por los clientes a través de Internet desde su navegador (ej. Internet Explorer, Firefox). En él está instalada la herramienta I3Geo la cual ha sido modificada para cumplir con los requerimientos.

- I3Geo**
 Esta aplicación está instalada en el servidor Apache y es la que brinda todas las funcionalidades de visualización y análisis sobre los mapas generados por SIGNEO mediante la consulta al servidor MapServer que los contiene. Se encarga de la autenticación de usuarios, organizando la información a presentar de acuerdo a los permisos que éste tenga mediante la consulta a una base de datos PostgreSQL.
 La herramienta además hace uso de las funcionalidades que tienen que ver con el análisis espacial que brinda PostGIS.
- PostgreSQL / PostGIS**
 Almacena la información referente a los usuarios, sus permisos y las configuraciones necesarias como por ejemplo, las rutas a los servidores de mapas, etc.

3.4 Flujo de datos

A continuación se detalla el flujo de los datos (ver Fig 4.), desde sus orígenes, pasando por su procesamiento y el camino final hasta llegar al usuario final.

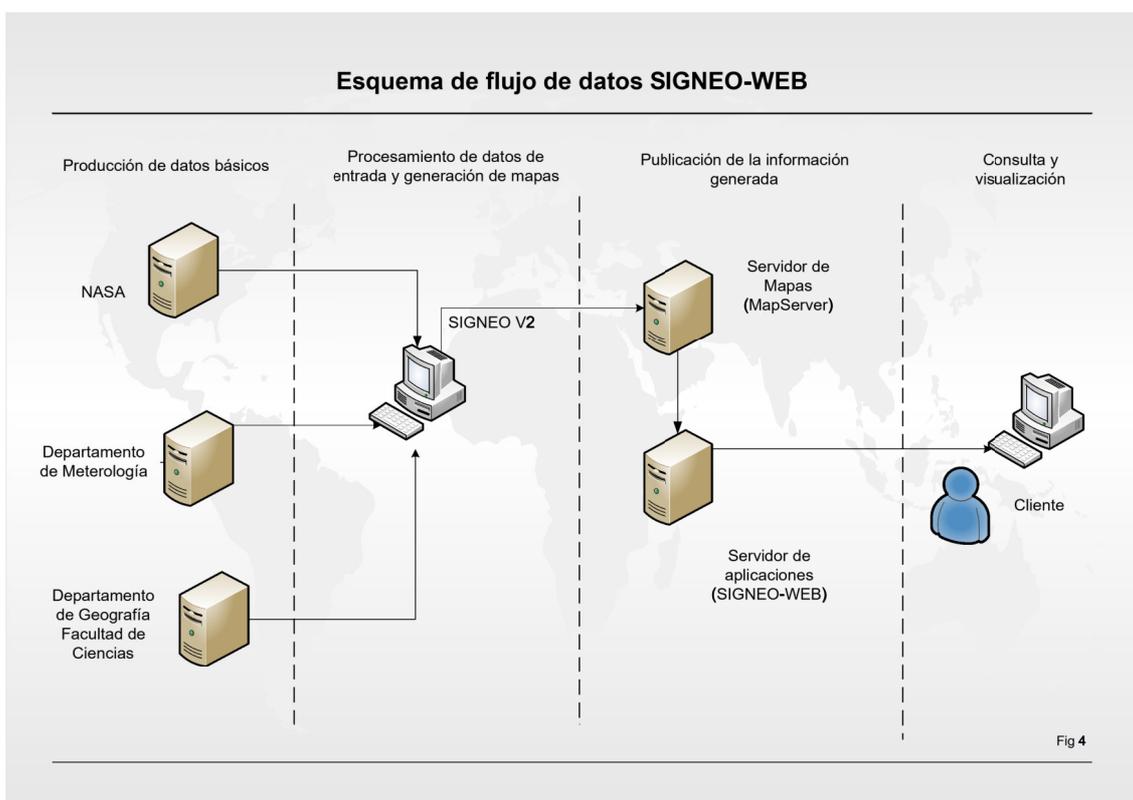


Fig. 4 Flujo de los datos

3.4.1 Producción de datos Básicos.

Los datos necesarios para que el sistema realice los cálculos se obtienen de distintas fuentes. Ellas son:

- **NASA:** Del servidor de la NASA se descargan los archivos MODIS generados a partir de sensores satelitales, los cuales contienen la información que se usará para la generación de las bandas de Rojo e Infrarrojo Cercano. A partir de estas dos bandas se genera el índice llamado NDVI. Dicho índice es un tipo de dato dinámico, es decir, debe actualizarse regularmente según la disponibilidad de los archivos MODIS.
- **Departamento de Meteorología de la Facultad de Ciencias:** Se descarga diariamente (dato dinámico) un archivo conteniendo la información histórica y pronóstico para las próximas horas de temperatura, humedad y vientos.
- **Departamento de Geografía de la Facultad de Ciencias:** Se utilizan las capas de datos dinámicos como la humedad de extinción o de datos estáticos como el modelo digital del terreno (pendiente) y factor por modelo de combustible.

3.4.2 Procesamiento de datos de entrada y generación de mapas.

Una vez que están disponibles todos los datos necesarios para los cálculos, se procede por parte del usuario del sistema, a ejecutar todos los pasos intermedios para realizar los cálculos que dan como resultado los mapas de Índice de riesgo de incendio y de propagación. A continuación se muestran dos esquemas que representan esos pasos.

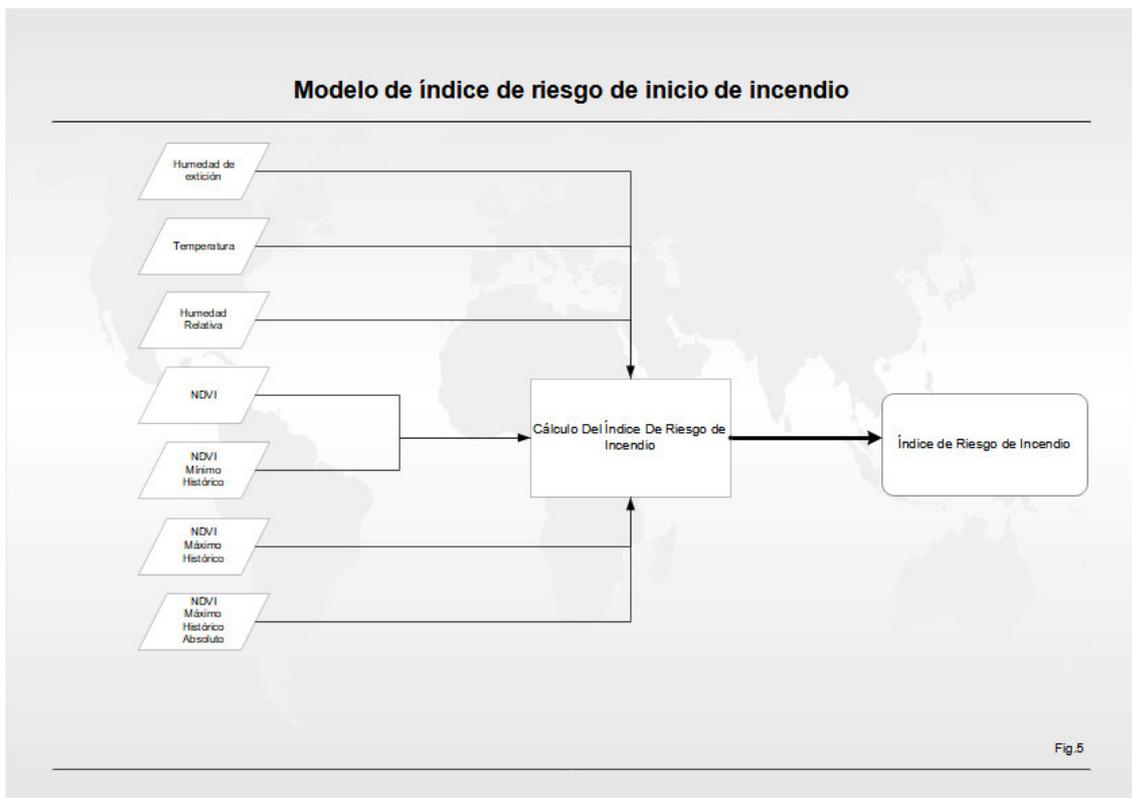


Fig5 Esquema del cálculo de Índice de riesgo de incendio

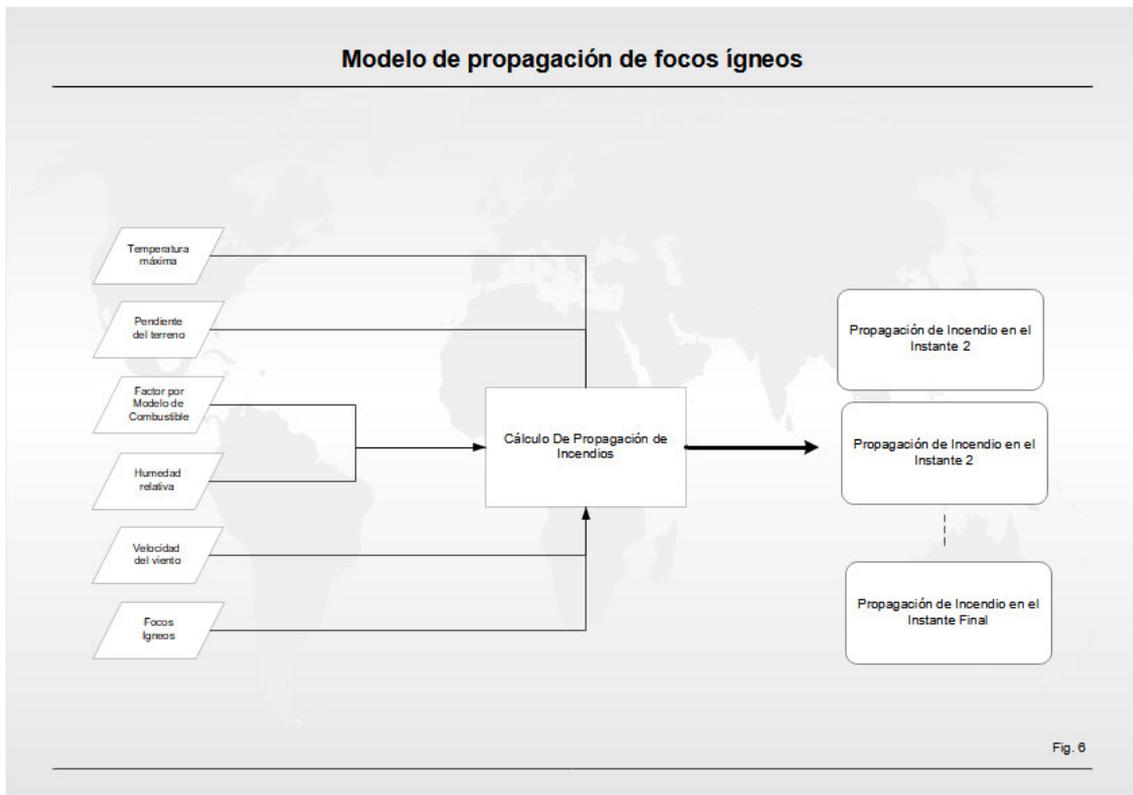


Fig.6 Esquema del cálculo de la propagación de incendio

3.4.3 Publicación de la información generada.

Luego de generados los mapas, para difundir esa información y que sea de fácil acceso por los usuarios finales, se publican en un servidor de mapas MapServer.

La herramienta desarrollada se encarga del manejo de esos mapas, brindando al usuario una forma fácil de consulta y visualización.

3.4.4 Consulta y visualización.

Finalmente, los usuarios acceden vía Internet a la información al conectarse al servidor Web Apache. Luego de autenticarse, el usuario puede visualizar y consultar toda la información publicada en el sistema de acuerdo a su perfil a través de la interface de I3Geo.

Capítulo 4

En este capítulo se describen algunos aspectos de la implementación del sistema y el plan de pruebas para validar los cálculos y medir el rendimiento del sistema. Sobre la implementación, describiremos la forma en que se resolvieron los principales problemas sin entrar en aspectos específicos del código. En cuanto al plan de testeo, presentaremos la especificación de los distintos casos de prueba diseñados, los resultados esperados, los resultados obtenidos y las pruebas de aceptación del cliente.

4.1 Implementación

4.1.1 Trabajo con SIGNEO y SIGNEO V2

El trabajo consistió en continuar el desarrollo de la herramienta SIGNEO, incorporándole modelos de cálculo que simulan la realidad e incluirle la capacidad de difundir la información producida de una forma fácil para que tenga la mayor difusión posible.

La primera tarea realizada para este proyecto, fue el estudio de la herramienta SIGNEO con la finalidad de prepararla para admitir los nuevos modelos. Se hizo la instalación correspondiente, así como también se configuró el ambiente de desarrollo, para lo cual se instaló además Sextante[27] y Piloto Raster[28] ya que la herramienta también utiliza funcionalidades de los mismos.

Durante el proceso de desarrollo, se brindó asistencia al grupo de investigación en el ciclo de especificación, implementación, prueba y validación de los resultados.

Una vez definidos los modelos, fue necesario realizar un trabajo con el objetivo de especificarlos matemáticamente para que pudieran ser implementados e incorporados al sistema, se generó el documento correspondiente, ver [Anexo II]

Para incorporar los modelos de cálculo a la herramienta SIGNEO, se implementaron dos módulos en dos clases JAVA, ModuloIndice.java y ModuloPropagación.java, las cuales se acoplaron a la herramienta y son utilizados por ésta para realizar los cálculos referentes al Riesgo de inicio de incendio y Simulación.

Durante el transcurso del presente proyecto, se desarrolló por parte de otros estudiantes una nueva versión de SIGNEO llamada SIGNEO V2. Esta nueva versión, brinda nuevas funcionalidades que automatizan la obtención de la información requerida para los modelos. Algunas de estas funcionalidades permiten la descarga de información vía Internet y el procesamiento de la misma. De esta forma, la herramienta SIGNEO V2 se encarga de la obtención de toda la información requerida por los modelos. Al ser invocados por el sistema los módulos que implementan los modelos, reciben la información necesaria desde el sistema y con ella realizan los cálculos correspondientes al modelo implementado devolviendo al sistema el valor resultante.

Para realizar el cálculo del Índice de riesgo, el sistema hace un recorrido de la zona seleccionada por el usuario celda por celda hasta cubrirla por completo, por cada celda, el sistema obtiene la información contenida en esa celda en cada una de las capas de

datos que posee e invoca al módulo que implementa el modelo pasándole dicha información. El módulo recibe toda la información, realiza el cálculo correspondiente al modelo y devuelve al sistema el resultado.

Para el cálculo de la propagación de incendios, el procedimiento es el siguiente: el sistema toma como punto de partida las celdas que están definidas como focos ígneos por parte del usuario. Para cada una de esas celdas, el sistema crea una lista con todas las celdas que están contiguas a ellas. Para cada una de esas celdas de la lista, invoca al módulo que implementa el modelo pasándole toda la información necesaria. El módulo, tomando en cuenta la información recibida, entre la cual se encuentra el tamaño de celda y la hora de inicio del incendio, calcula la hora en que tomará fuego esa celda en particular y la devuelve como resultado al sistema. Se continúa este procedimiento con todas las celdas de esa lista hasta que se hayan evaluado todas. Una vez concluida esta etapa, se crea una nueva lista conteniendo todas las celdas contiguas a las celdas de la lista original. De esta forma, el sistema posee la información necesaria para determinar en que momento toma fuego cada celda de la zona seleccionada y con esa información puede crear las distintas visualizaciones de avance del incendio para las horas solicitadas por el cliente.

Al ver las ventajas que aportaba la nueva versión SIGNEO V2, se tomó la decisión de realizar el trabajo necesario para que los modelos se instalaran en ella. Para lo cual se llevó a cabo el estudio y la instalación de esta nueva versión y se le incorporaron dichos modelos (Fig. 7).

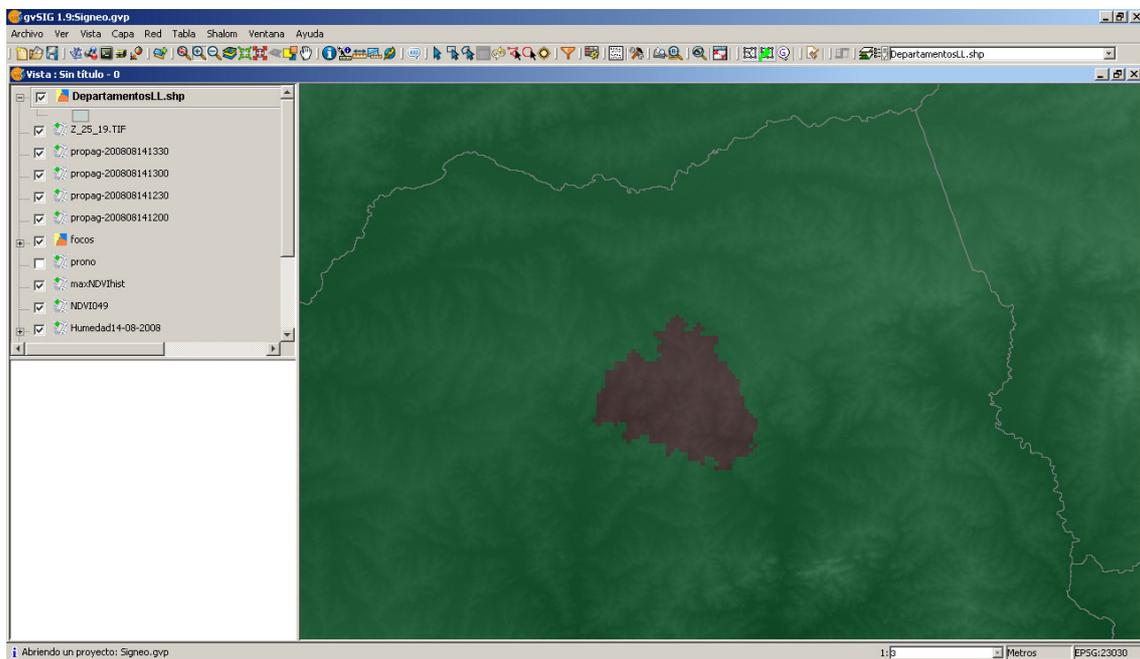


Fig.7 Herramienta SIGNEO V2 mostrando la simulación de una propagación de un foco ígneo (el color rojo representa la zona incendiada).

4.1.2 Publicación de mapas.

Para la publicación de los mapas generados, es necesario seguir los siguientes pasos:

- **Copiar los mapas dentro del visualizador:** En la herramienta Signeo V2, se configura el directorio en el cual deseamos que se almacenen los mapas generados. Se copian los archivos de los mapas que se desean publicar desde esa ubicación a una carpeta llamada \i3geo\aplicamap\datos que se encuentra en el directorio en el cual está instalado el visualizador de mapas.
- **Generar el archivo MapFile:** un usuario con perfil de administrador en el visualizador, crea un archivo asociado a cada mapa llamado MapFile. Para crear ese archivo, basta con ejecutar un editor de Mapfiles disponible en el visualizador. Al ejecutar este editor, se presenta al usuario una pantalla en la cual debe ingresar la ruta donde está el mapa a publicar, y el nombre que se le dará al archivo. Es posible también en esta etapa ingresar metadatos asociados al mapa.
- **Inserción en la estructura de visualización.** El último paso es insertar el MapFile creado en la estructura de visualización. La estructura de visualización, sirve para organizar la información publicada, es creada dinámicamente por un usuario con perfil administrador. En nuestro caso, en la raíz de nuestra estructura, tenemos dos elementos, Calculo de Riesgo y Pronóstico de Avance. La funcionalidad para hacer la inserción del archivo, también es ejecutada por un usuario con perfil de administrador. Al ejecutar esta funcionalidad, el usuario debe escoger el MapFile creado y asociado al mapa a publicar, el punto de inserción dentro de la estructura de visualización y la lista de perfiles de usuarios que tienen acceso al mismo.

Luego de ejecutados los pasos anteriormente descritos, el mapa queda publicado en el visualizador.

4.1.3 Servidor de mapas y visualizador.

Para cumplir con los requerimientos respecto a la publicación de la información para su mejor difusión, se decidió hacer un estudio con el objetivo de determinar si había alguna herramienta que pudiera servir de base para el desarrollo del nuevo sistema de publicación.

Los requerimientos que se tomaron en cuenta al momento de seleccionar una herramienta son los siguientes:

Requerimientos Funcionales:

- Autenticación de usuarios
- Menú de herramientas
- Cargar Mapa para visualizarlo y permitir realizar análisis espacial.
- Descargar Mapa hacia el cliente.
- Visualización secuencial de capas (evolución de incendios)

Requerimientos no funcionales:

- Servidor Web: Apache Server
- Navegador: Internet Explorer y Firefox

- Multiplataforma (Windows, Linux)
- Brindar soporte para seguridad de usuarios
- Estándares propuestos por la OGC
- Software y herramientas de distribución libre

En una primera instancia, se seleccionaron dos herramientas que podrían facilitar la implementación de estos requerimientos: p.mapper e I3Geo.

Se determinó que p.mapper tenía las siguientes características:

- Interfase zoom/pan
- Navegadores Soportados: Firefox 2.+ / Netscape 7+, IE 5/7, Opera 6.+
- Zoom/pan vía teclado, rueda de ratón, referencia de mapa, barra
- Funciones de consulta (Identificar, Seleccionar, Buscar)
- Función de medida de distancias y áreas
- Leyendas en HTML así como varios estilos de visualización de capas y leyendas
- Descarga de imágenes de mapas visualizados en distintas resoluciones y formatos
- Inicio de aplicación con extensión de zoom predefinida por extensión o capa

I3Geo también cumple con todas esas características y además agregaba las siguientes:

- Visualización secuencial de mapas según configuración
- Análisis de información contenida en tablas
- Integración de otras herramientas como Google Earth y Google Map
- Herramientas de Geoprocesamiento

Esto hizo que se seleccionara I3Geo como herramienta a instalar y adaptar a los requerimientos planteados. (ver Fig. 8)

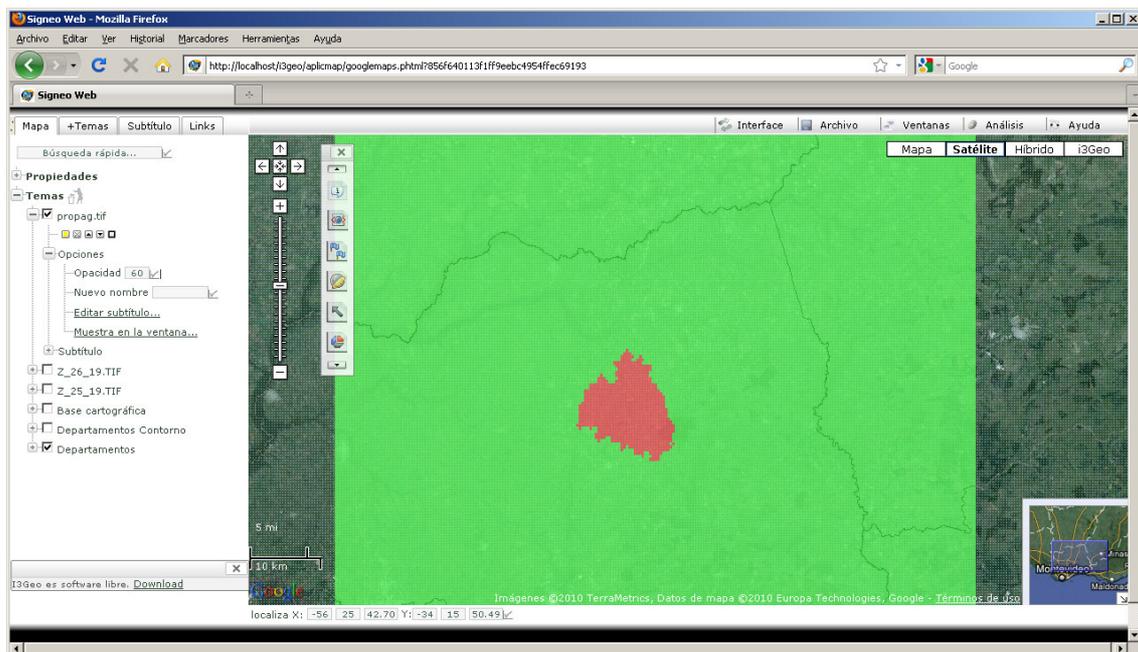


Fig. 8 Herramienta para la visualización de mapas vía Web.

I3Geo está desarrollado en PHP y a su vez está basado en un conjunto de software libre dentro de los cuales se destaca MapServer.

Para cumplir con los requerimientos se realizó el siguiente trabajo:

Traducción de la herramienta. El idioma en que está desarrollada es el Portugués y si bien cuenta con internacionalización que entre los cuales se encuentra el idioma Español, no abarca todo el programa, por lo que hubo que hacer la traducción de buena parte de la herramienta.

Adaptación de la herramienta: Para que cumpliera con los requerimientos en cuanto a la autenticación de usuarios y al manejo de perfiles, los cuales determinaban a que información tenía acceso cada usuario, fue necesario desarrollar un sistema de autenticación e incorporarlo a la herramienta. Se creó una nueva página la cual es la portada del sistema, en ella el usuario ingresa su usuario y contraseña, mediante la consulta a una base de datos, el sistema determina el perfil asignado a ese usuario. Al momento de publicar la información, el administrador del sistema, tiene la posibilidad de seleccionar de la lista de perfiles disponibles, cual de ellos tiene acceso a la información que está publicando. De esta manera, el sistema, luego de determinar que perfil tiene el usuario autenticado, muestra solo la información que el administrador asignó a ese perfil.

Los perfiles pueden ser creados, modificados o dados de baja de la lista de perfiles dinámicamente por el administrador del sistema utilizando la funcionalidad correspondiente que posee la herramienta.

4.2 Plan de pruebas

A continuación se detallan las pruebas realizadas al sistema. Se muestran los resultados de las pruebas de los cálculos, las de desempeño del sistema y se habla de las pruebas de aceptación por parte del Cliente.

4.2.1 Validación de los cálculos.

Dada la especificación matemática de los modelos y un conjunto de datos de entrada específicos, es necesario determinar si la implementación de dichos modelos en el sistema, da como resultado una salida correcta.

Calculo de índice de inicio de incendio.

Para realizar esta validación, se toman una serie de puntos distribuidos por toda la zona de cálculo y se toman los valores en esos puntos para cada uno de los datos que acepta como entrada el modelo. Luego, se realiza el cálculo utilizando las fórmulas matemáticas definidas. Una vez se tengan los valores resultados, se ejecuta el algoritmo en el sistema, utilizando las coordenadas de los puntos elegidos, se corrobora que el valor resultado en esos puntos, sea el mismo calculado previamente.

Calculo del Riesgo de Incendio										
	Punto (x,y)	%Hum.	Temp.	Hum. de extinción	NDVI	NDVI- Max	NDVI- Abs-Max	NDVI -Min	Resultado Fórmula	Resultado Sistema
0	-56.147,-34.367	6,353	14,081	12,000	0,368	0,999	0,590	0,581	84.13	84.13
1	-56.026 , -34.228	6,354	13,861	15,000	0,479	0,999	0,566	0,548	50.60	50.60
2	-55.555 , -34.159	6,130	13,060	15,000	0,538	0,999	0,630	0,570	75.99	75.99
3	-55.325 , -34.311	6,246	13,496	15,000	0,477	0,999	0,609	0,485	42.22	42.22
4	-55.458 , -34.626	6,246	13,496	12,000	0,154	0,999	0,503	0,194	76.20	76.20

Calculo de la propagación de un foco ígneo.

Se comienza el procedimiento seleccionando un foco ígneo, luego seleccionamos un conjunto de puntos entorno a él y que se encuentren a distinta distancia y en distintas direcciones. Dado un conjunto de datos de entrada y valiéndonos de la fórmula matemática especificada para la propagación, determinamos a que hora debería tomar fuego cada uno de los puntos. Luego ejecutamos la simulación en el sistema y verificamos que efectivamente el incendio alcance los puntos seleccionados a la hora correcta.

4.2.1 Pruebas de aceptación

Se realizan pruebas de cada una de las funcionalidades principales del sistema con el fin de verificar con el cliente el correcto funcionamiento.

- **Generación de un índice de inicio de incendio.** Utilizando la herramienta SIGNEO V2 y la información disponible requerida, generar un mapa con el Índice de Riesgo de Incendio.
- **Simulación de una propagación de foco ígneo.** Definir un foco ígneo, seleccionar hora de inicio, hora de finalización e Intervalo de la simulación. Generar como salida la cantidad de datos correcta para la simulación.
- **Publicación de planos en el servidor de mapas.** Dados los mapas generados por SIGNEO V2, publicarlos en la herramienta de visualización. Se definen los perfiles de cada uno de ellos para delimitar el acceso por parte de los usuarios.
- **Ingreso al sistema con distintos perfiles verificando la información desplegada.** Se ingresa al sistema utilizando distintos usuarios con cada uno de los perfiles existentes. Se verifica que la información brindada sea correcta para cada uno de esos perfiles.

Capítulo 5

En este capítulo se plantean los resultados esperados al comienzo del proyecto, los resultados alcanzados luego de concluido y las dificultades encontradas. Se detallan las conclusiones obtenidas y las posibles aplicaciones y mejoras que podrían hacerse en la herramienta en trabajos futuros.

5.1 Resultados esperados

Luego de una primera etapa de análisis de requerimientos, los objetivos generales determinados para el proyecto fueron los siguientes:

- Adaptación de SIGNEO implementando los nuevos modelo de cálculo de Índice de Riesgo y de Propagación de focos ígneos.
- Implementación de un sistema de publicación del mapa de riesgo de incendios y propagación de focos ígneos. Dichas publicaciones deberán tener en cuenta la diversidad del público objetivo: autoridades, tomadores de decisión y público en general.

5.2 Resultados alcanzados

Dado el trabajo realizado en conjunto con los docentes de la Facultad de Ciencias, se logró la especificación matemática de los modelos, se implementaron los módulos necesarios para la incorporación de los mismos a SIGNEO. Se logró que funcionara perfectamente con ambos modelos y que generara los mapas requeridos.

Se realizó un estudio acerca de las herramientas disponibles para tomar como base para el sistema de publicación de la información, como conclusión de la misma, se seleccionó la llamada I3GEO.

Luego de la traducción de la misma y de hacer el desarrollo e incorporarle funcionalidades nuevas para poder cumplir con los objetivos planteados, se logró un sistema capaz de publicar en Internet los mapas generados por SIGNEO. Se logró un fácil acceso por parte de los usuarios clasificando la información de acuerdo al perfil de cada uno. Cuenta además con una serie de herramientas para la visualización de mapas, como por ejemplo: zoom sobre un área determinada, desplazamiento del mapa, etc. Permite además la integración de los mapas generados por SIGNEO con los provenientes de otras fuentes como por ejemplo GoogleMaps.

Se considera que el resultado del trabajo cumple todos los objetivos planteados al comienzo. En paralelo a este trabajo, se llevó a cabo otro Proyecto de Grado con la finalidad de desarrollar una nueva versión de SIGNEO, esa versión, SIGNEO V2, incluye varias funcionalidades que facilitan el trabajo con la información requerida para los cálculos. Al comienzo de este trabajo, no se contaba con el objetivo de adaptar los modelos a esa nueva versión ya que ésta no existía aún, pero se consideró que sería un muy buen aporte al producto final incluir este trabajo. Se llevó a cabo entonces, el análisis de esta nueva versión y se le incorporaron los modelos de cálculo desarrollados.

5.3 Dificultades encontradas

Una de las principales dificultades encontradas en el desarrollo de este proyecto, se centró entorno a los modelos de cálculo. El Departamento de Geografía de la Facultad es quién estaba a cargo del trabajo. El avance del trabajo que realizaron, se extendió significativamente en el tiempo, lo cual, al estar este proyecto supeditado al mismo, tuvo un gran efecto extendiendo los plazos de desarrollo. Por tal motivo se tomó la decisión de colaborar en el desarrollo de los mismos, principalmente en lo que se refiere a la especificación matemática del modelo. Se mantuvieron numerosas reuniones a lo largo del tiempo con los integrantes de ese departamento para estar al día con el avance logrado por ellos. De esa forma se logró llevar nuestro proyecto con el mayor grado de avance en cada momento.

Otra dificultad encontrada está relacionada a las herramientas que se utilizaron. SIGNEO utiliza como plataforma gvSIG 1.1, para continuar el desarrollo hay que configurar el ambiente de desarrollo, pero para esta versión del sistema no es nada sencillo. La versión que se encuentra disponible en el sitio para bajar, no compila y hay que invertir mucho tiempo y esfuerzo para lograr que funcione correctamente. Además, no existe documentación suficiente dificultando aún más la tarea. Visto esto, se decidió solicitar ayuda a los estudiantes que realizaron el proyecto SIGNEO los cuales nos brindaron algunas pautas que resultaron útiles para lograr el objetivo. Se logró la instalación y el funcionamiento del sistema, pero tuvo un alto costo en la cantidad de horas invertidas.

5.4 Conclusiones

El iniciar un proyecto con fuertes dependencias de fuentes externas para su desarrollo, es un riesgo importante. En ese sentido, uno de los puntos críticos en este proyecto fue que una de sus partes principales, como eran los modelos de cálculo, se encontraba en esta situación. Como consecuencia de esto, los tiempos del proyecto se tornaron difíciles de manejar causando un retraso importante.

Este proyecto integra una cantidad importante de herramientas existentes, muchas de las cuales, a su vez son la integración de otras tantas. Esto es un ejemplo de que es posible obtener un sistema de dimensiones importantes y con una gran cantidad de funcionalidades sin necesidad de desarrollarlo desde cero. Es posible integrar herramientas existentes de distintos orígenes, con propósitos variados y lograr un producto integrado de buena utilidad. En este proyecto, luego de realizar una investigación detallada, se obtuvieron varias herramientas que al ser integradas, contribuyeron en gran medida para lograr los objetivos. No obstante algunas de ellas requirieron un desarrollo considerable para su adaptación al sistema, al incorporarlas se logró un alto grado de productividad.

A pesar de los problemas encontrados durante el desarrollo del proyecto, se considera haber cumplido con todos los objetivos planteados al comienzo, se logró un alto grado de satisfacción del cliente y se logró un sistema que consideramos va a ser de gran utilidad para todos los involucrados en la prevención y combate de incendios forestales.

5.5 Trabajos a futuro

La herramienta SIGNEO fue pensada para ser un contenedor de algoritmos que implementan modelos de cálculo, para incorporarle un nuevo algoritmo, es necesario implementar una clase java que se encargue de hacer los cálculos necesarios. Esto hace que la incorporación de los modelos al sistema, sea realizado necesariamente por un programador java. Por esta razón, sería interesante desarrollar un trabajo con la finalidad de incorporarle a la herramienta funcionalidades que permitan a un usuario hacer que el sistema trabaje con modelos nuevos sin la necesidad de programarlos en java, solo definiendo dinámicamente los cálculos necesarios, simplemente utilizando algo que podría ser un editor de modelos.

Actualmente, para realizar los cálculos de Índice de riesgo, la herramienta ejecuta un procedimiento que toma como entrada la zona definida para el cálculo y el tamaño de celda a utilizar. El procedimiento consiste recorrer toda la zona, celda a celda linealmente hasta cubrirla por completo. Por cada celda, el procedimiento obtiene los datos necesarios para el cálculo de todas las capas disponibles e invoca a la clase que contiene al modelo, la cual realiza los cálculos y devuelve un valor. Este procedimiento está en el núcleo de la aplicación y no es sencillo cambiarlo. Sería útil, incorporarle al sistema la flexibilidad necesaria para que este procedimiento fuera modificado fácilmente, o por lo menos brindarle al usuario la posibilidad seleccionar entre varios procedimientos definidos. Por ejemplo, otro procedimiento sería cargar todos los datos de una zona y luego realizar el cálculo que determina el modelo con toda la información necesaria, esto podría darle la posibilidad de tomar en cuenta datos para áreas mayores y no solo datos de una celda en particular.

Referencias

- [1] LTAAT: Laboratorio de Técnicas Aplicadas al Análisis del Territorio. <http://ltaat.fcien.edu.uy/> [25 de noviembre de 2010 última fecha de acceso].
- [2] SIGNEO Informe de Proyecto de Grado. 2008. [archivo]. InformeFinal3.5.pdf
- [3] OGC: Open Geospatial Consortium. [online]. 2010. Disponible en <http://www.opengeospatial.org/> [21 de Agosto de 2010 fecha de último acceso]
- [4] gvSIG. [online]. 2010. Disponible en <https://gvSIG.org/web/> [21 de Agosto de 2010 fecha de último acceso]
- [5] Sextante. [online]. 2010. Disponible en <http://forge.osor.eu/plugins/wiki/index.php?P%C3%A1gina%20principal&id=13&ty pe=g> [25 de Noviembre de 2010 fecha de último acceso]
- [6] Sistemas de Evaluación de Peligro de Incendios <http://www.ambiente.gov.ar/archivos/web/PNMF/File/Sistemas%20de%20Evae%20Incendios.pdf>
- [7] Proyección cartográfica. Conceptos de Geodesia, Priscilla Minotti, Universidad CAECE [online]. 2010. Disponible en http://www.caece.edu.ar/tea/Apuntes/Proyecciones_cartograficas.pdf y http://es.wikipedia.org/wiki/Proyecci%C3%B3n_cartogr%C3%A1fica [12 de Setiembre de 2010 fecha de último acceso].
- [8] Sistema geodésico. Bárbara Parmenter, The University of Texas at Austin [online]. 2010. Disponible en www.esi.utexas.edu/gk12/workshops/gis/docs/projections.ppt y http://en.wikipedia.org/wiki/Geodetic_system [12 de Setiembre de 2010 fecha de último acceso].
- [9] ESRI. Modeling Our World, The ESRI Guide to Geodatabase Design. Michael Zeiler. 1999. ISBN 1-879102-62-5
- [10] Manual de Uso del Visualizador de Mapas - Instituto del Bien Común <http://www.ibcperu.org/mapas/pdf/manual-uso.pdf>
- [11] http://www.mappinginteractivo.com/plantilla-ante.asp?id_articulo=179
- [12] Manual de ingeniería básica para la prevención y extinción de incendios forestales. Viger, Nonell, Ferrer, Cuchi, López. [online]. 2003. Disponible en http://books.google.com.uy/books?id=xPJNf6wD5i0C&pg=PA75&lpg=PA75&dq=combusti%C3%B3n+and+vegetales+and+forma&source=web&ots=-EBH8Pfvbf&sig=yCJCRNaLmNIFLesxdlWC7c7UbWc&hl=es&sa=X&oi=book_result&resnum=4&ct=result#PPA1,M1 [21 de Agosto de 2010 fecha de último acceso].
- [13] NDVI: Normalized Difference Vegetation Index. [online]. 2010. Disponible en <http://earthobservatory.nasa.gov/Features/MeasuringVegetation/> y

http://en.wikipedia.org/wiki/Normalized_Difference_Vegetation_Index y [21 de Agosto de 2010 fecha de último acceso].

[14] Fundamentos y utilización de índices meteorológicos de peligro de incendio. Aguado, Camia. [online]. 1998. Disponible en <http://dspace.uah.es/dspace/bitstream/10017/1065/1/Fundamentos%20y%20Utilizaci%C3%B3n%20de%20%C3%8Dndices%20Meteorol%C3%B3gicos%20de%20Peligro%20de%20Incendio.pdf> [21 de Agosto de 2010 fecha de último acceso].

[15] Cortafuegos y corta combustibles en plantaciones de coníferas. Norberto Rodríguez – Area de protección forestal, CIEFAP [online]. 2003. Disponible en <http://www.ciefap.org.ar/documentos/fichas/FTA9N4Cortafuegosycortacombustibles.pdf> [21 de Agosto de 2010 fecha de último acceso].

[16] Sistemas de Evaluación de Peligro de Incendios. [online]. Disponible en <http://www.ambiente.gov.ar/archivos/web/PNMF/File/Sistemas%20de%20Evae%20Incendios.pdf> [17 de Setiembre de 2010 fecha de último acceso].

[17] Combatiendo los Incendios Forestales Antes de que se Inicien. [online]. Disponible en http://ciencia.nasa.gov/headlines/y2001/ast28aug_1.htm [17 de Setiembre de 2010 fecha de último acceso].

[18] Sistemas evaluación de riesgos de incendio forestal. [online]. Disponible en http://www.miliarium.com/monografias/Incendios_Forestales/Sistemas_Evaluacion_Riesgo.asp [17 de Setiembre de 2010 fecha de último acceso].

[19] Description of the indices implemented in EUDIC software for the European meteorological forest fire risk mapping. A. Camia, G. Bovio, Technical note, Joint Research Centre, Space Application Institute. [online]. 2000. Disponible en http://effis-viewer.jrc.ec.europa.eu/documents/generalinterest/Indices_description.pdf [22 de Agosto de 2010 última fecha de acceso].

[20] Especificación de Requerimientos de Software SIGNEO-WEB.doc

[21] GoogleMaps <http://maps.google.com/>

[22] The Apache Software Foundation <http://www.apache.org/>

[23] PostgreSQL <http://www.postgresql.org/>

[24] National Aeronautics and Space Administration <http://modis.gsfc.nasa.gov/>

[25] MapServer <http://mapserver.org/>

[26] Ministério do Meio Ambiente do Brasil <http://www.mma.gov.br/sitio/>

[27] Extension Sextante. www.sextantegis.com/

[28] Piloto Raster <http://www.gvsig.org/>

Anexo I

Documento: Cálculo de Riesgo de Incendio y propagación.doc

Propósito del documento:

El propósito de este documento es especificar detalladamente el modelo de cálculo de riesgo de incendio y el modelo de propagación de incendios forestales con la finalidad de implementarlos como parte del sistema Sígeo.

Especifica los datos de entrada, su procedencia, su tratamiento previo y procedimiento de cálculo realizado en cada modelo.

Modelo para el cálculo de riesgo de incendio.

Entrada:

Capas de datos conteniendo la siguiente información:

- **%Humedad:** Humedad relativa mínima del día anterior.
- **Temperatura:** Temperatura máxima del día anterior.
- **Humedad de extinción** (entre 12% y 40%)
- **NDVI:** Índice de Diferencias de Vegetación Normalizado
- **NDVI-Max:** Ndvi máximo histórico para cada celda
- **NDVI-Abs-Max:** Ndvi máximo historico para toda el área.
- **NDVI-Min:** Ndvi máximo histórico para cada celda

Salida:

Capa conteniendo el mapa resultante del cálculo de riesgo de incendio.

Fórmula de cálculo:

Se procede a recorrer simultáneamente todas las capas de datos dentro del área seleccionada de trabajo celda a celda, a medida que se van visitando cada una de ellas, se hace el cálculo del índice de riesgo y se va almacenando el resultado en la celda correspondiente en la capa de salida. Se utiliza la siguiente fórmula:

$$\mathbf{FPI}(\text{índice potencial de incendios}) = 100 * (1 - \mathbf{FMC10HRfrac}) * (1 - \mathbf{VC})$$

Detalle:

$$\mathbf{FMC10HRfrac} = \mathbf{FMC10HR} / \mathbf{Humedad\ de\ extinción}$$

$$\mathbf{FMC10HR} = 1,28 \times \mathbf{EMC}$$

$$\text{EMC} = \begin{cases}
 0,03229 + (0,281073 \times \% \text{Humedad}) - \\
 (0,000578 \times \% \text{Humedad} \times \text{Temperatura}) & \text{Si } \% \text{Humedad} \leq 10\% \\
 2,22749 + (0,160107 \times \% \text{Humedad}) - \\
 (0,014784 \times \text{Temperatura}) & \text{Si } 10\% < \% \text{Humedad} < 50\% \\
 21,0606 + (0,005565 \times \% \text{Humedad}^2) - \\
 (0,00035 \times \% \text{Humedad} \times \text{Temperatura}) - \\
 (0,483199 \times \% \text{Humedad}) & \text{Si } \% \text{Humedad} \geq 50\%
 \end{cases}$$

$$\text{VC} = \text{VCmax} \times \text{RG}$$

$$\text{VCmax} = 0,25 + 0,50 \times \text{NDVI-Max} / \text{NDVI-Abs-Max}$$

$$\text{RG} = (\text{NDVI} - \text{NDVI-Min}) / (\text{NDVI-Max} - \text{NDVI-Min}) \times 100$$

Detalle:

%Humedad: es la humedad relativa mínima del día anterior discriminada por área geográfica. Estos datos son aportados por el área de Meteorología de la Facultad de Ciencias.

Temperatura(°C): Temperatura máxima del día anterior discriminada por área geográfica. Estos datos son aportados por el área de Meteorología de la Facultad de Ciencias.

Humedad de extinción: es el contenido de humedad necesario para la extinción (que es un valor constante dependiente del tipo de combustible) varía entre 12% y 50%

NDVI: Índice de Diferencias de Vegetación Normalizado, permite realizar un seguimiento del vigor vegetal de la cubierta de la superficie terrestre. Con este índice se logra separar con relativa facilidad las superficies con vegetación sana de otras superficies. Si la vegetación está sufriendo estrés, sobretodo si éste es hídrico, se facilita la ocurrencia de incendios.

NDVI-Max: es el valor histórico máximo que ha tomado el índice NDVI y se considera, celda a celda dentro de la capa de datos.

NDVI-Abs-Max: es el mayor valor histórico que ha tomado el índice NDVI pero a diferencia del NDVI-Max, se considera toda el área de estudio para obtenerlo.

NDVI-Min: es el ndvi histórico mínimo del píxel

FMC10HRfrac: Es el contenido de humedad del combustible suponiendo un equilibrio con las condiciones atmosféricas; luego de 10 hs de condiciones atmosféricas estables se supone que el combustible fino muerto transfiere el 63% de la diferencia entre su contenido inicial de humedad y el de la atmósfera.

FMC10HR: Los sistema de índices de riesgo de incendio clasifican los combustibles forestales muertos en tiempos de retardo de 1, 10, 100 y 1000 horas, lo cual significa que su contenido de humedad puede cambiar en un 66% de su condición inicial al estado final durante el lapso de tiempo correspondiente, teniendo esto relación con el diámetro del material.

Los diámetros de los combustibles muertos para cada tiempo de retardo son los siguientes:

1-hr < 0.25"

10 - hr 0.5"

100 - hr 1-3"

1000 - hr 3-8"

Considerando que los inicios de los incendios en su mayoría son derivados de los combustibles finos, para la aplicación del FPI se toma en cuenta los combustibles de hasta 10hs. La humedad de los combustibles se calcula considerando los datos diarios (del día anterior) de temperatura máxima y de mínima humedad relativa. Para los valores de contenido de humedad necesarios para la extinción (derivados de los modelos de Rothermel) la escala va del 10 al 40 y esta expresada en por ciento.

EMC: es el contenido de humedad de equilibrio entre el vegetal muerto y la atmósfera

RG: Es el verdor relativo(*Relative Greeness*) El verdor relativo (VR) se deriva de los Índices de Diferencias de Vegetación Normalizados (NDVI en inglés) los cuales son calculados a partir de los datos obtenidos del sensor MODIS abordo de los satélites Terra y Aqua. La base para calcular el VR son datos históricos de los NDVI los cuales definen los valores máximo y mínimo observados en cada píxel. Por lo tanto, el VR indica que tan vigorosa es la vegetación actual en cada píxel con relación a su rango histórico. El VR tiene una escala que va del 0 al 1, en donde los valores bajos indican que la vegetación está o se aproxima a su verdor mínimo y los valores altos indican que la vegetación está o se aproxima a su verdor máximo.

VCmax: Este porcentaje permite establecer una relación del estado de la vegetación de cada píxel con los de toda el área de estudio. Al comparar los niveles máximos de NDVI en un píxel para un período con el máximo valor para toda el área se rectifican los valores en función de criterios espaciales. La escala de valores va del 0.25 al 0.75.

Tanto para estimar el verdor relativo como para la proporción de vegetación viva se puede utilizar el NDVI como el NDII.

Modelo de propagación de incendios.

Entrada

Capas de datos conteniendo la siguiente información:

T-máx.: Temperatura máxima del día anterior.

X: Pendiente expresada en %

HR: Humedad relativa actual.

V: Velocidad del viento en Km/h

FMC: Factor por modelo de combustible

Salida

Capa conteniendo el mapa resultante del pronóstico de avance de un foco ígneo dado en un determinado tiempo futuro.

Forma de Cálculo

Se parte de un foco de incendio consistente en una celda a evaluar, se va iterando haciendo un cálculo por minuto transcurrido luego de iniciado el incendio.

En cada iteración, se evalúan las celdas contiguas a las incendiadas y se determina su estado tomando en cuenta la velocidad de propagación del incendio en la dirección en que se encuentra respecto al foco, si comienza a quemarse, se agrega al conjunto de celdas a evaluar en la próxima iteración, si por el contrario esta celda ya se quemó, se retira de dicha lista.

En el momento requerido, se genera una capa mostrando un mapa con las celdas incendiadas hasta el momento.

$$VP(\text{velocidad de propagación}) = (FMC) * (FCH) * (FP + FV)$$

$$FCH = \frac{389,1624 - 14,3 (CH) + 0,02 (CH)^2}{3,559 + 1,1615CH + 2,62392(CH)^2}$$

$$CH = -2,97374 + 0,262 (HR) - 0,00982 (T\text{-max})$$

$$FP = 1,00 + 0,023322 (X) + 0,00013585 (X)^2$$

$$FV = 1,00 + 0,51218 (V) - 0,007151 (V)^2$$

Detalle

FCH = Factor de propagación por efectos del contenido de humedad de la vegetación fina muerta (de 10hs).

FP = Factor de propagación por efectos de la pendiente del terreno, en el sentido de avance del fuego en el rumbo correspondiente.

FV = Factor de propagación por efectos de la velocidad del viento, en el sentido de avance del fuego en el rumbo correspondiente.

FMC = Factor de propagación por efectos del modelo de combustible, considerando terreno plano, sin viento y humedad del combustible fino muerto del 15%.

Dichos valores pueden ser deducidos utilizando el programa Behave en base a los modelos de combustible de Rothermel – Albini.

Para el modelo 1 de pastos bajos el factor de propagación sería: 0,007640 m/s ¹

Para el modelo 2 de pastos con 1/3 de arbolado o matorral el factor de propagación sería: ²

Para el modelo 3 de pasos largos y cultivos, el factor de propagación sería: 0,016096 m/s

Para el modelo 5 de matorral denso y joven el factor de propagación sería:³

Para el modelo 6 de matorral denso (más alto que el anterior) el factor de propagación sería: 0,006219 m/s.

¹ En este caso en particular el valor de humedad referido es del 11%, siendo éste el máximo porcentaje de humedad del combustible fino muerto a partir del cual el programa Behave da un resultado distinto a 0, para este modelo de combustible.

² Para realizar las estimaciones de este modelo de combustible en el programa Behave es necesario conocer la humedad de la vegetación viva (a establecer).

³ Para realizar las estimaciones de este modelo de combustible en el programa Behave es necesario conocer la humedad de la vegetación viva (a establecer).

Factor de viento

Velocidad del Viento	Factor de Propagación
0	1,000
1	1,511
2	2,007
3	2,488
4	2,954
5	3,406
6	3,843
7	4,265
8	4,673
9	5,066
10	5,444
11	5,807
12	6,156
13	6,490
14	6,809
15	7,114
16	7,404
17	7,679
18	7,939
19	8,185
20	8,416
21	8,632
22	8,834
23	9,021
24	9,193
25	9,350
26	9,493
27	9,621
28	9,734
29	9,832
30	9,916
31	9,985
32	10,039
33	10,079
34	10,104
35	10,114
36	10,109
37	10,090
38	10,056
39	10,007
40	9,944
41	9,866
42	9,773
43	9,665
44	9,543
45	9,406
46	9,254
47	9,088
48	8,907
49	8,711
50	8,500

51	8,275
52	8,035
53	7,780
54	7,510
55	7,226
56	6,927
57	6,613
58	6,285
59	5,942
60	5,584
61	5,211
62	4,824
63	4,422
64	4,005
65	3,574

