

# APLICACIÓN DE SIG Y MODELOS DE PROPAGACIÓN A LA IDENTIFICACIÓN DE ÁREAS DE RIESGO DE INCENDIOS FORESTALES EN LA ZONA COSTERA



Foto: Martín Fernández

**PROYECTO:** PNUD URU 06/016 CONECTANDO EL CONOCIMIENTO CON LA ACCIÓN PARA LA GESTIÓN INTEGRADA DE LA ZONA COSTERA URUGUAYA DEL RÍO DE LA PLATA  
**COMPONENTE:** VULNERABILIDAD DE LA ZONA COSTERA

**COORDINACIÓN:** VIRGINIA FERNÁNDEZ

**DOCENTES INVESTIGADORES:** PABLO IRAOLA, YURI RESNICHENKO

**AYUDANTES DE INVESTIGACIÓN:** ANDRÉS CAFFARO, BRUNO GUIGOU

**AYUDANTES DE INVESTIGACIÓN HONORARIA:** NADIA COIANA

**COLABORADORES:** ANDRÉS FONSAÍA, NÉSTOR LÓPEZ

**LABORATORIO DE TÉCNICAS APLICADAS AL ANÁLISIS DEL TERRITORIO**  
**DEPARTAMENTO DE GEOGRAFÍA**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**

**JUNIO/2009**

---

## Tabla de contenido

1.	Introducción .....	3
2.	Sobre riesgo y vulnerabilidades .....	4
2.1.	La zona costera, un territorio singular .....	6
2.2.	Las características costeras de Canelones y Maldonado .....	6
3.	Alcance del trabajo .....	7
3.1.	Objetivos generales.....	7
3.2.	Objetivos específicos .....	7
4.	Área de estudio.....	8
5.	Antecedentes.....	8
5.1.	A nivel internacional .....	8
5.2.	A nivel nacional .....	9
5.3.	Geografía e incendios forestales.....	9
5.4.	Vegetación .....	10
5.5.	Legislación .....	11
5.6.	Aplicación de la teledetección .....	12
6.	Materiales y métodos.....	12
6.1.	Imágenes satelitales y teledetección .....	12
6.2.	Landsat 5 TM .....	13
6.3.	Reconocimiento de especies forestales por medio de imágenes satelitales.....	14
6.4.	MODIS .....	15
6.5.	Otros datos .....	15
6.6.	Evaluación del producto FIRMS .....	17
6.7.	Capacitación .....	17
7.	Estrategia de investigación .....	17
7.1.	Revisión bibliográfica .....	17
7.2.	Tratamiento digital de las imágenes satelitales .....	18

---

7.3. Los datos meteorológicos .....	18
7.4. Salida de campo .....	18
7.5. Vínculos con el equipo del Instituto de Computación de la Facultad de Ingeniería.....	20
7.6. Relacionamiento con las instituciones.....	20
8. Índices de riesgo de incendio forestal.....	20
8.1. Índices meteorológicos de peligro de incendio .....	20
8.2. Incorporación de imágenes satelitales en los índices de peligro de incendio ...	22
8.3. Selección del índice .....	23
9. Los modelos de combustibles vegetales.....	23
10. Resultados .....	26
11. Conclusiones.....	27
12. Bibliografía .....	28
ANEXO 1 .....	31
ANEXO 2.....	33
ANEXO 3.....	36
ANEXO 4.....	38
ANEXO 5.....	39
ANEXO 6.....	46

## 1. Introducción

Se estima que los incendios forestales se están incrementando como resultado del cambio climático, afectando con mayor severidad áreas más extensas en diversas regiones del mundo. En Uruguay estos siniestros producen importantes pérdidas económicas y ambientales. Además del daño que provocan debido a la destrucción del valor paisajístico, y la alarma que genera a pobladores y turistas, se produce la afectación de la infraestructura vial y el transporte, así como significativos gastos para la movilización de equipo y personal para sofocar el fuego.

Más allá de la frecuencia creciente de peligro de incendio forestal por factores relacionados con el cambio climático a nivel global, la generación de estos siniestros puede analizarse como un fenómeno social estrechamente relacionado con la construcción histórica de condiciones de vulnerabilidad socioeconómica, ambiental e institucional.

En este trabajo se presentan los avances de un proyecto que tiene por finalidad generar un sistema de información geográfica para la prevención y gestión de los incendios forestales como herramienta de apoyo a la toma de decisiones. Forma parte de una línea de investigación que se viene desarrollando en el Laboratorio de Técnicas Aplicadas al Análisis del Territorio del Departamento de Geografía (Facultad de Ciencias). La misma es coordinada por Virginia Fernández y trabajan en calidad de investigadores docentes Yuri Resnichenko y Pablo Iraola (honorario), como ayudantes de investigación Andrés Caffaro y Bruno Guigou (contratados específicamente mediante el convenio con el PROYECTO PNUD URU 06/016, Nadia Coiana (honoraria), Néstor López, y Andrés Fonsalía (honorario). Asimismo el equipo de investigación trabaja en coordinación con docentes y estudiantes del Laboratorio de Integración de Sistemas del Instituto de Computación de la Facultad de Ingeniería.

La línea de investigación integra las tecnologías de la información geográfica como herramientas que facilitan el abordaje de la captura de información espacial, la ejecución de análisis avanzados y el desarrollo de aplicaciones para la gestión. Estas permiten la generación y producción de datos e información para el estudio de fenómenos geográficos dinámicos. Utilizando estas herramientas es posible producir información casi en tiempo real y con bajo costo así como combinar informaciones de diversas fuentes y analizar las interacciones entre variables y elaborar modelos preventivos.

Por otro lado, y desde el punto de vista conceptual, adopta la teoría del riesgo como el resultado de relacionar la amenaza, o probabilidad de ocurrencia de un evento negativo, y la vulnerabilidad de los elementos expuestos, o factor interno de selectividad de la severidad de los efectos sobre dichos elementos. Medidas estructurales, como el desarrollo de obras de protección y la intervención en la vulnerabilidad de los pobladores o elementos bajo riesgo, y medidas no estructurales, como la regulación de usos del suelo, la incorporación de aspectos preventivos en los presupuestos de inversión y la realización de preparativos para la atención de emergencias pueden reducir las consecuencias de un evento sobre una población.

Metodológicamente busca la identificación de las áreas más propensas a inicio de incendio discriminando los factores de riesgo en naturales y antrópicos. Dentro de los primeros se pueden citar los meteorológicos (humedad, temperatura, vientos),

topográficos (orientación, pendiente, altura) y biológicos (especies, densidad, fenología). Entre los antrópicos se consideran de importancia el acceso vial a los montes forestales, actividades agrícolas que practican quemas, actividades de recreación y turísticas vinculadas al *camping* y otro tipo esparcimiento en zonas naturales.

El sistema integra elementos dinámicos, como los meteorológicos, mediante modelos numéricos de pronóstico de alta resolución espacial (Weather Research and Forecast) con información topográfica proveniente de un modelo numérico de terreno, datos de uso del suelo y vegetación (NDVI) así como hotspots de las imágenes MODIS. También incorpora el factor humano, la historia y características de eventos.

La necesidad de manejar numerosos y diversos datos, así como información provenientes de varias fuentes, donde la variable espacial vinculada a la distribución de los elementos necesarios a conjugar frente a un evento es de alta relevancia, hacen fundamental el uso de tecnologías de información geográfica. El SIG suministrará mapas dinámicos de riesgo de inicio de incendio forestal, de peligro meteorológico, de riesgo de propagación y de apoyo a la extinción.

## 2. Sobre riesgo y vulnerabilidades

La noción de riesgo posee diversas aproximaciones, uno de los autores más destacados en esta área lo define como “una posibilidad y una probabilidad de daños relacionados con la existencia de determinadas condiciones en la sociedad, o en el componente de la sociedad bajo consideración (individuos, familias, comunidades, ciudades, infraestructura productiva, vivienda etc.)” (Lavell, 2001). Por su parte Olcina (2006) lo visualiza con una perspectiva más territorial y lo considera como “una actuación humana poco acorde con los rasgos del medio donde tienen lugar; es, en suma, una infracción que el hombre comete sobre el territorio por la implantación inadecuada de actividades o asentamientos”.

El riesgo es una construcción social, dinámica y cambiante que posee una clara expresión territorial y social. Es decir, para analizar y enfrentar este fenómeno hay que comprender su carácter evolutivo y su desarrollo fuertemente condicionado por las diferentes realidades socioterritoriales que en el área se presentan.

Al momento de poder catalogar los diferentes tipos de riesgos según su origen, y establecer sus límites, los mismos se presentan de compleja dilucidación. No obstante se han ensayado diferentes clasificaciones una de las cuales los diferencia en naturales y tecnológicos. Por riesgo natural se entiende a “aquellos elementos del ambiente biofísico que son peligrosos al hombre y que están causados por fuerzas extrañas a él” (Chardon et al., 2002). Por su parte el riesgo tecnológico es la “probabilidad de sufrir daños o pérdidas económicas, ambientales y humanas como consecuencia del funcionamiento deficiente o accidente de una tecnología aplicada en una actividad humana” (Bosque Sendra et. Al, 2004). Según estas clasificaciones el riesgo proveniente de los incendios forestales se ubicaría más próximo al concepto del tecnológico ya que generalmente se produce por impericia humana.

Para que se desarrolle el riesgo deben existir condiciones de amenazas y vulnerabilidad. La conjunción de estos dos últimos elementos, y sus respectivas proporciones, serán las que establecerán el grado final que el riesgo tome.

Lavell (2001) define a la amenaza como el “peligro latente que representa la posible manifestación dentro de un período de tiempo y en un territorio particular de un fenómeno de origen natural, socio-natural o antropogénico, que puede producir efectos adversos en las personas, la producción, la infraestructura, los bienes y servicios y el ambiente. Es un factor de riesgo externo de un elemento o grupo de elementos expuestos, que se expresa como la probabilidad de que un evento se presente con una cierta intensidad, en un sitio específico y dentro de un período de tiempo definido”.

La amenaza proveniente de los incendios forestales involucran diversos aspectos que hacen compleja su clasificación éstos podrían ser comprendidos dentro de las amenazas socio naturales o tecnológicas. Para Cardona (2003) las amenazas socio naturales son “un peligro latente asociado con la posible manifestación de fenómenos físicos cuya existencia, intensidad o recurrencia se relaciona con procesos de degradación ambiental o de intervención humana en los ecosistemas naturales”. Son procesos que se encuentran en la intersección entre la naturaleza y la actividad del hombre. En tanto las tecnológicas, o antropogénicas, se relacionan con “un peligro latente generado por la actividad humana en la producción, distribución, transporte y consumo de bienes y servicios y la construcción de edificios e infraestructura”. Estos procesos devienen de la impericia o falta de planificación. En el caso de los incendios forestales toma elementos de ambas clasificaciones ya que se trata de una intervención sobre un ecosistema que poseía sus propias características, el cual fue modificado sustancialmente, y deviene del consumo de bienes y servicios e implantación de cierta infraestructura en sitios poco apropiados o carentes de planificación.

El otro componente esencial para la existencia del riesgo es la vulnerabilidad. Ésta puede ser entendida como “la propensión de una sociedad de sufrir daño o de ser dañada, y de encontrar dificultades en recuperarse posteriormente” (Lavell, 2001). Bosque Sendra (2004) añade que esta situación es “consecuencia de un bajo sistema de protección social y/ o una mala gestión del territorio”. Estas características son esenciales en los incendios forestales ya que un evento puede afectar a la población social y económicamente pero también al territorio cambiando drásticamente las características del mismo.

Al momento que se concreta el riesgo, como combinación de los factores de amenazas y vulnerabilidad, deviene el desastre. Éste último fenómeno se refiere a las “consecuencias extremas reales del impacto de una amenaza de magnitud específica sobre un elemento con determinada vulnerabilidad a ella, generando una situación de crisis, es decir alteraciones extremas del funcionamiento habitual de dicho elemento por desmesuradas pérdidas humanas y materiales que superan su capacidad en soportarlas, lo que demuestra su falta de preparación (poca capacidad) y lo dejan por un tiempo, en un estado de gran desamparo (poca resiliencia). La recuperación y la salida de la crisis no son posibles sin ayuda externa” (Chardon, 2002).

Sin duda todos estos fenómenos poseen una incuestionable dimensión geográfica ya que tanto amenaza como vulnerabilidad se materializan sobre un territorio. Por tal motivo el análisis del territorio, y sus diferentes elementos constitutivos, se tornan esenciales para este tipo de estudios.

## 2.1. La zona costera, un territorio singular

La zona costera conforma un territorio de interfase donde la influencia mutua de los ámbitos terrestre y acuático significa un factor determinante, tanto en aspectos climatológicos, fisiográficos, ecológicos y económicos (Fedra, K. & Feoli, E., 2003).

Las costas oceánicas del mundo comparten un conjunto de características que determinan tanto su valor como su vulnerabilidad; alta densidad de población con grandes conglomeraciones urbanas, rápido crecimiento de población, alta concentración económica con su elevado consumo de recursos, requerimientos de agua y energía cada vez mayores, intenso tráfico marino y terrestre, son una enumeración no exhaustiva de los elementos de presión antrópica allí presentes.

En particular la costa uruguaya consolidó a lo largo de la historia un protagonismo sustancial en el desarrollo nacional. Actualmente los departamentos costeros del Río de la Plata y el Océano Atlántico concentran casi el 70% del total de la población, cerca del 71% de hogares particulares y algo más del 72% de las viviendas del Uruguay (Fernández V. y Resnichenko Y., 2005, Instituto Nacional de Estadística, 2006). Esta zona es también donde se produce la mayor aglomeración económica del país; en estos departamentos se genera más del 75% del Valor Agregado Bruto (Tessore et al., 2005). En una estrecha faja del territorio coexisten lugares de destacado valor natural así como paisajes creados por el hombre con cierto grado de fragilidad y equilibrio dinámico.

Una de las consecuencias del desarrollo intensivo de las áreas costeras es la probabilidad del aumento de los diferentes tipos de riesgo, donde cada vez grupos más numerosos quedan expuestos a los mismos. La preocupación ante la exposición a riesgos naturales o tecnológicos es creciente, pero en general el conocimiento sobre ellos es incompleto y no integrado a las políticas de gestión ni a las medidas de contingencia (UNEP/MAP/PAP, 1999). Según la teoría del riesgo, un evento puede ser considerado una catástrofe (fenómeno que pone en acción el potencial) en tanto y en cuanto haya población involucrada, ponga en tensión o extreme las características preexistentes del sistema socioeconómico y ambiental de dicha población, y produzca una irrupción/disfunción en el proceso general de desarrollo. El riesgo ha sido definido como la contra-cara de la incertidumbre. Hay riesgo cuando es posible realizar una cuantificación sobre la ocurrencia de un hecho (Lavell, 1996).

## 2.2. Las características costeras de Canelones y Maldonado

La costa del Departamento de Canelones está constituida por una sucesión casi continua de balnearios con distinto grado de urbanización. Por su parte el Departamento de Maldonado, ubicado al Este de Canelones, también posee una variedad importante de balnearios, que si bien no posee una continuidad como en el caso anterior, existen centros de veraneo de gran importancia como son Piriápolis y Punta del Este. Estas tierras estaban constituidas en gran parte por dunas móviles que poseían escaso valor agropecuario y serias dificultades para el asentamiento de población. A finales del siglo XIX y comienzos del siglo XX se comenzaron a fijar dichos médanos, fundamentalmente por medio de pinos marítimos, eucaliptus y acacias. Así pues, se fueron conjuntando la forestación costera con la presencia de

una larga sucesión de playas. Estas características, sumadas a la incipiente costumbre por parte de las personas de alto nivel económico de pasar unos días de esparcimiento en las playas, fueron generando las condiciones necesarias para el desarrollo de los primeros balnearios. Posteriormente esta costumbre se fue extendiendo en otros niveles económicos y se fueron desarrollando nuevos núcleos urbanos en el área, no siempre con la debida planificación.

Actualmente la zona costera ha tenido un importante crecimiento de población. Según el censo del año 2004 el Departamento de Canelones se presenta como el segundo más poblado del país, luego de Montevideo, y Maldonado ocupa el tercer lugar; particularmente el poblamiento sobre la costa en estos departamentos ha tenido un desarrollo muy intenso. Son también estos departamentos de los más importantes del país en cuanto a recursos económicos y productivos.

Uno de los rubros económicos que se destaca fuertemente en la zona costera de estos departamentos es el turismo. Según las cifras oficiales del Ministerio de Turismo para el 2007, la zona costera de Canelones y Maldonado, recibieron a lo largo del año casi el 40% del turismo extranjero que ingresa al país; esta cifra asciende a cerca del 50% si se considera solamente la época estival. Los ingresos por turismo representan un 3,5% del PBI del Uruguay; particularmente en esta zona se genera más del 50% de los ingresos que obtiene el país en este rubro, y si se considera solamente la época estival este número supera el 65%.

### **3. Alcance del trabajo**

El presente informe contiene las actividades realizadas durante el mes de diciembre de 2008 hasta mayo del 2009 en relación al convenio realizado entre Facultad de Ciencias y el programa ECOPLATA con el objeto de:

#### **3.1. Objetivos generales**

- Generar los insumos para la elaboración y producción de un Sistema de Información Geográfico para la prevención y control de incendios en la zona costera.
- Realizar la gestión y coordinación de actividades para el fortalecimiento de las capacidades a nivel del Gobierno Nacional y Departamental tendientes a profundizar el desarrollo de productos interdisciplinarios en materia de prevención y control de incendios.

#### **3.2. Objetivos específicos**

- Identificar bases de datos referentes a la temática a sistematizar.
- Armonizar criterios de ingreso y almacenamiento de datos.

- Relevar, registrar y georreferenciar la información.
- Tratamiento de imágenes satelitales a escala global departamental y a escala micro para una zona de riesgo.
- Obtener un modelo numérico de terreno y sus productos derivados.
- Evaluar y analizar datos meteorológicos para ingresar al modelo.
- Realizar relevamiento de campo para ajustar los resultados del modelo.
- Analizar información vial y localizar infraestructura para la extinción del siniestro.
- Participar en el diseño y puesta en marcha de los espacios de discusión y análisis para la elaboración de un Sistema de Información Geográfica para la prevención y control de incendios adecuado a nivel local.
- Participar en el fortalecimiento de las capacidades a través de la organización de talleres sobre el manejo de la información destinado a técnicos de las intendencias, DINAMA, DINOT, Dirección Nacional de Meteorología y Servicio Nacional de Bomberos.
- Participar en cualquier otra actividad que se requiera enmarcada en el logro de este objetivo.

#### **4. Área de estudio**

Si bien el objetivo del estudio está orientado a la zona costera rioplatense y atlántica se espera poder extender los resultados primarios al resto del país.

En una primera fase de trabajo experimental se acotó la zona de estudio a la parte de la costa al este del arroyo Solís chico hasta Piriápolis, siendo el límite norte la ruta 9. Esta primera experiencia permitió realizar corroboraciones sobre el tratamiento de las imágenes Landsat a terreno, a la vez que sirvió al equipo de investigación para potenciar empíricamente el conocimiento sobre el comportamiento del fuego a través de la visualización de los efectos en distintas cubiertas vegetales.

#### **5. Antecedentes**

##### **5.1.A nivel internacional**

Esta temática comienza a desarrollarse a finales de los años 20 en Estados Unidos y Canadá, países que actualmente son referentes en la problemática de incendios.

En una primera instancia los trabajos se enfocaron en la creación de índices de peligro en base a datos meteorológicos tales como el de los rusos Nesterov y Teylicin, el índice francés de Riesgo Numérico Meteorológico y el italiano IREPI (Índice de Reducción Evapotranspiracional de Peligro de Incendios).

Posteriormente el análisis fue complejizándose para desembocar en sistemas de riesgo que consideran además de los datos meteorológicos factores como: modelos de combustible, topografía, actividad humana, comportamiento del fuego, análisis estadísticos de datos históricos (frecuencia y causalidad) y vulnerabilidad al daño; ejemplos de estos sistemas son el estadounidense NFDRS (National Fire Danger Rating System), el canadiense CFFDRS (Canadian Forest Fire Danger Rating System), el español Grado Actual de Peligro de Incendios Forestales y el europeo desarrollado por el Joint Research Centre (JRC). En la actualidad un importante avance en la investigación es la incorporación a estos sistemas de la información obtenida a partir de imágenes satelitales.

## 5.2. A nivel nacional

En Uruguay la temática de incendios forestales ha cobrado importancia en los últimos años. En este marco se visualiza la ausencia de un trabajo sistemático a largo plazo, los trabajos existentes suelen ser recientes y sin una clara continuidad en sus aportes. Alguno de los trabajos realizados:

Maldonado – Punta del Este uso de satélites en la prevención de incendios, Fernández, V.; Resnichenko, Y. 2000.

Diagnóstico de los ecosistemas boscosos costeros del Uruguay. Sarasola, M.; Vera, H.; Grosso, E.; Arim, M.; Korenko, V.; Clara, M.; Bañales, P. 2001.

Determinación del riesgo de incendios forestales utilizando un sistema de información geográfica, Pablo Iraola, Tesis de Grado Facultad de Agronomía, 2003.

Evaluación de zonas afectadas por incendios en la costa atlántica enero 2005, Ing. Agr. Martín Dell'Acqua, 2005.

## 5.3. Geografía e incendios forestales

La actividad desarrollada por geógrafos sobre incendios forestales refiere a estudios integrados en donde se maneja información espacial procedente de distintas fuentes (meteorología, topografía, suelos, vegetación, infraestructuras, etc.). Asimismo generalmente se han basado en el empleo de nuevas tecnologías de análisis territorial, singularmente la teledetección y los sistemas de información geográfica, quedando en un segundo término el estudio de la relación entre actividad humana e incendios.

- En este tema se encuentran los trabajos realizado por: (Arnal, 1995; O'Flanagan, 1997; Paniagua, 1991; Sánchez, 1996; Montiel, 1994); relación

incendios-transformaciones agrarias (Cabral, 1991), relación incendios-caza (Doctor, 1991; Martínez Vega, 1990).

- Realización de índices meteorológicos: (Carrega, 1990), (Gonçalves y Lourenço, 1990; Lourenço, 1990); mixtos con imágenes satelitales (Chuvieco, 1995), (Aguado, 1998).
- Realización de índices de riesgo: (Prosper-Laget, 1995), (Eidenshink, 1990), (Alonso, 1996), (Deshayes, 1998).
- Aplicación de SIG: (Chuvieco, 1997), (Bachman y Allgowerm, 1998), (Badia, 1998), (Castro y Chuvieco, 1998), (Chou, 1992), (Chuvieco y Congalton, 1989), (Chuvieco y Salas, 1996), (Nunes, 1996), (Salas y Chuvieco, 1994), (Vliegheer, 1992), (Salazar, 1989), (Yool, 1985).
- Cartografía del área quemada: (Dupre, 1992; 1995), (Gordi, 1996), (Gonçalves y Lourenço, 1990), (Pereira, 1997), (Camacho, 1995), (Chuvieco, 1988), (Davis y Burrows, 1990), (López y Caselles, 1991), (Martín, 1994), (Minnich, 1978), (Navarro, 1996), (Viedma y Chuvieco, 1993)
- Efectos ecológicos de los incendios: (Cabral, 1991), (Matarredona, 1996), (Quintalla, 1997), (Cerdá, 1993), (Soler, 1993), (Soler y Sala, 1995), (Panareda, 1995).

#### 5.4. Vegetación

El estado de la cubierta vegetal determina, junto con otros factores, la probabilidad de ignición y el comportamiento del incendio. Las características de la vegetación, la pendiente y el viento que forman el denominado triángulo del comportamiento del suelo, condicionan la propagación del incendio.

El incendio forestal se desarrolla, principalmente, de acuerdo a dos reglas físico-químicas (ICONA, 1990):

- el contenido de humedad del combustible muerto, situado sobre el suelo del monte, que determina la temperatura a la que se inicia la emisión de gases combustibles.
- la estructura de las formas de vegetación (modelos de combustibles), que condiciona la transmisión del calor y la cantidad de combustible disponible.

En el desarrollo del programa BEHAVE, modelo de simulación de incendios creado por el U.S. Forest Service en Missoula, se crearon trece modelos combustibles en función del elemento propagador del fuego (Anderson, 1982; Burgan y Rothermel, 1984). Cada uno de estos modelos parametriza las características que condicionan la

combustibilidad de una determinada formación vegetal, y a cada uno de ellos le corresponde una determinada intensidad y velocidad de propagación del fuego. El Servicio de Defensa Contra Incendios Forestales del ICONA, a realizado una adaptación de esos trece modelos a la vegetación española, estableciendo claves visuales interpretativas para cada una de las grandes zonas homogéneas, desde el punto de vista forestal, del territorio. (ICONA, 1990). En Uruguay no existe aún una caracterización de ese tipo, por lo cual es preciso establecerla.

En nuestra costa los tipos de bosques que se dan son principalmente (según Sarasola y Vera, 1999): Acaciales, eucaliptales y pinares. "... el principal disturbio que afecta al medio ambiente costero desde la introducción de los pinos marítimos es el incendio forestal." lo cual "es el verdadero elemento modelador de la vegetación costera"... lo que lo convierte "...en un factor ecológico de este ecosistema..."

"existe en muchos sitios a lo largo de la costa una acumulación de material combustible que unido a factores climáticos y humanos propician la ocurrencia de incendios forestales". Se establece también que el combustible fino acumulado es un indicador de incendio forestal.

## 5.5. Legislación

A nivel local, es poco lo que existe en cuanto a legislación e incendios forestales. Esta el Edito del Fuego, que según "... lo establecido en la Ley N° 15.896 (Ley de Prevención y Defensa contra Siniestros), en la Ley 15.939 (Ley Forestal) y en el Decreto N° 849/88 (y su modificativo el Decreto N° 188/02) Decreto N° 111/89 y N° 584/90..." impide la realización de quemas de cualquier tipo entre el 1° de diciembre y el 15 de abril. También se establece que se tendrá en cuenta el mapa de riesgo de incendio forestal generado por la DINAMET (Dirección Nacional de Meteorología), el cual se basa en el índice de Nesterov. En caso de incumplimiento "Las infracciones a estas disposiciones, podrán dar lugar a la aplicación de las sanciones previstas en el Art. 206 y siguientes del Código Penal, Arts. 107 y 108 del Código Rural, Art.13 del Decreto N° 849/88, Art. 11 y Art. 12 del Decreto N° 584/90 y Art. 15 del Decreto N° 111/89."

Existe también un "sistema de alerta y monitoreo de incendios forestales" (SAMIF). Coordinado por Presidencia de la República, Sistema Nacional de Emergencias y otras instituciones:

- Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca: Dirección General de Recursos Naturales Renovables y Dirección General Forestal
- Ministerio del Interior: Dirección Nacional de Bomberos

- Ministerio de Defensa: Fuerza Aérea Uruguay - Dirección Nacional Meteorología
- Ministerio de Transporte y Obras Públicas
- Sociedad de Productores Forestales.

Para lo cual se realizó un "Plan general de acción para la prevención, alerta y respuesta a los incendios forestales".

## 5.6. Aplicación de la teledetección

“La Cartografía de los modelos de combustible entraña importantes problemas, ya que las características del material combustible son enormemente dinámicas y exigen un nivel de detalle difícilmente abordable con la periodicidad requerida. Por otro lado, la cobertura global y periódica facilitada por los satélites de observación de la tierra, ofrece las condiciones temporales adecuadas para este tipo de cartografía. Además la homogeneidad en la toma de datos, así como la información sobre regiones no visibles del espectro, (infrarrojos medio y térmico y microondas) suponen una importante ventaja de esta técnica sobre la fotografía aérea”. (Salas, Chuvieco; 1995)

Uno de los primeros trabajos en emplear la teledetección para la cartografía de modelos de combustible se llevó a cabo en la provincia de Quebec (Canadá) en los 70 (Kourtz, 1977. También se destaca un trabajo realizado sobre el Crater Lake National Park de Oregon (Rabii, 1979). El proyecto AREScope constituyó un hito importante en esta línea de investigación. Realizado por un equipo de investigadores de la Universidad de California en Santa Bárbara, bajo el patrocinio del U.S. Forest Service (Consentino y Estes, 1981; Yool et al., 1984). Estos trabajos se centran sobre pequeñas zonas, en cambio se dan otros casos a nivel global que trabajan con imágenes de baja resolución espacial, (McKinley, et al., 1985), (Werth, et al., 1985), (Miller, et al., 1986), teniendo todos ellos distinto porcentaje de precisión.

## 6. Materiales y métodos

### 6.1. Imágenes satelitales y teledetección

El vocablo teledetección es una traducción latina del término inglés remote sensing, ideado a principios de los sesenta para designar cualquier medio de observación remota. En sentido amplio, la teledetección no engloba sólo los procesos que permiten obtener una imagen, sino también su posterior tratamiento, en el contexto de una

determinada aplicación. Actualmente el término, en habla hispana, se reduce a los productos obtenidos a partir de plataformas espaciales.

En el marco del proyecto para la prevención y control de incendios forestales es importante señalar algunas de las ventajas que ofrece la teledetección frente a otros medios de observación más convencionales: cobertura global y exhaustiva de la superficie terrestre, observación multiescala, información sobre regiones no visibles del espectro (detección de tipos de energías que no son visibles al ojo humano y que proporcionan una valiosa información para estudios medio ambientales), cobertura repetitiva, transmisión inmediata de la información, adquisición en formato digital, costo accesible (para el caso de este estudio en principio se trabajará con imágenes gratuitas disponibles en distintas páginas web).

Para el caso de este trabajo se utilizarán imágenes provenientes del satélite Landsat 5 cuyo sensor es el TM, y el sensor MODIS a bordo de las plataformas satelitales Terra y Aqua. El procesamiento de las imágenes está pensado para desarrollarse entorno al SIG libre GVSIG, no obstante como la versión estable del software disponible a la fecha no cuenta con el herramental suficiente se complementa el trabajo con el SIG IDRISI en su versión Andes (tenemos conocimiento de que la próxima versión estable de GVSIG nos permitirá realizar el procesamiento de las imágenes que requiere el trabajo). A continuación una breve descripción de las principales características de los satélites e imágenes, a la vez que una justificación de su empleo en nuestro estudio.

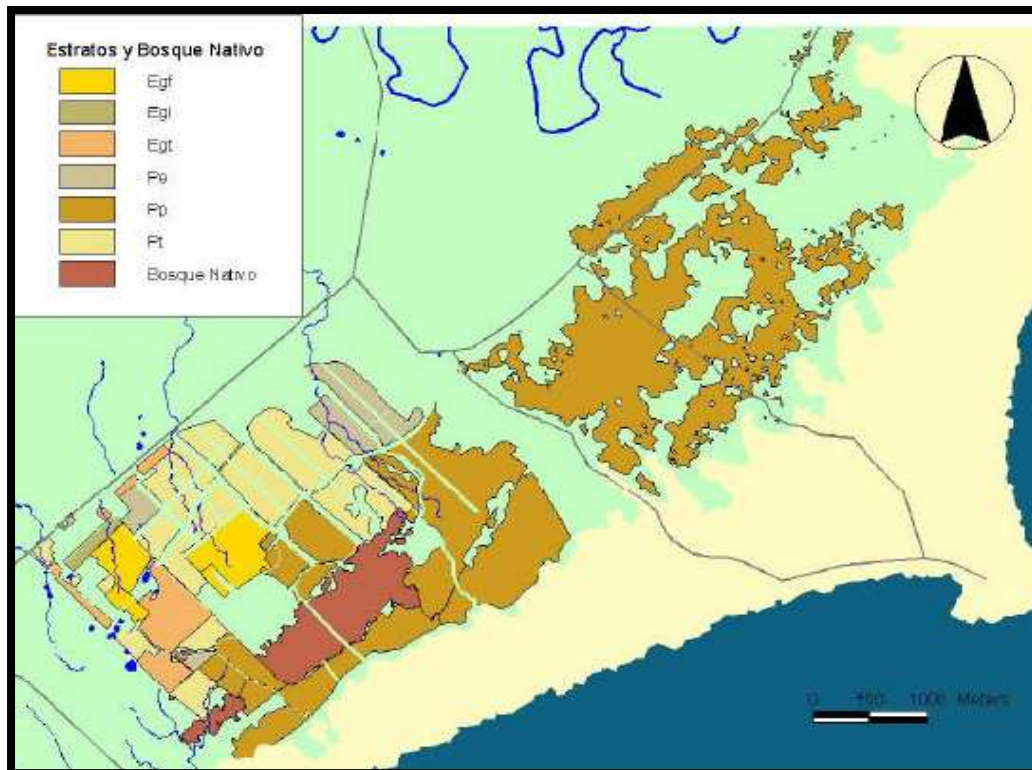
## 6.2. Landsat 5 TM

Es el satélite más fructífero de la familia de satélites Landsat, lanzado en el año 1984 supuso un importante aporte para la cartografía temática. Frente a su antecesor el TM mejora la resolución espacial, espectral y radiométrica: de 79 a 30m, de 4 a 7 bandas, y de 6 a 8 bits; el ciclo de recubrimiento (tiempo del satélite en cubrir una misma área) también mejora pasando de 18 a 16 días.

Para el caso de nuestro estudio las imágenes Landsat se utilizarán para la elaboración de una cartografía de combustibles forestales (en principio para un área piloto de estudio y posteriormente a nivel nacional) que nos permitirá desarrollar adecuadamente un índice de riesgo de incendio a la vez que contribuirá a la implementación del modelo de propagación del fuego. En la decisión de trabajo con estas imágenes cuenta (siempre en función de nuestros objetivos) su excelente resolución espectral, su adecuada resolución espacial y una muy buena resolución temporal a la vez que su disposición de forma gratuita.

De esta forma, en pruebas piloto se trabajó con distintas composiciones de bandas del sensor a los efectos de determinar cuál podría ser más útil a una futura clasificación de la imagen en función de los modelos de combustibles forestales. Se optó entonces por la composición de bandas 345, que en la codificación Landsat corresponden a las bandas del rojo, infrarrojo cercano e infrarrojo medio respectivamente. En conjunto estas tres bandas obtienen información de tres aspectos relevantes de la vegetación y en particular de la hoja: pigmentos, estructura celular y contenido de agua.

### 6.3. Reconocimiento de especies forestales por medio de imágenes satelitales



Fuente: determinación del riesgo de incendios forestales utilizando un sistema de información geográfica – Pablo Iraola (tesis de grado, 2003)



Composición 345 en base a imágenes Landsat

#### 6.4. MODIS

El sensor MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) es un instrumento que viaja a bordo de los satélites Terra y Aqua. La órbita de Terra alrededor de la tierra viaja del norte al sur cruzando el Ecuador por la mañana, mientras que el Aqua viaja del sur al norte cruzando el Ecuador por la tarde. Terra-MODIS y Aqua-MODIS cubren la superficie de la tierra cada 1 a 2 días, adquiriendo datos en 36 canales, a distintas resoluciones y ámbitos del espectro.

Las imágenes MODIS se utilizarán para la elaboración de los mapas temáticos de NDVII y/o NDII (en un área piloto al comienzo y a nivel nacional posteriormente) que requiere la implementación del índice de riesgo de incendio con el que se trabajará. Tanto el NDVI como el NDII son índices de vegetación que consideran la reflectividad de todas las cubiertas terrestres y en particular la signatura espectral característica de la vegetación para clasificar la misma. En concreto el NDVI se dirige a realzar las cubiertas vegetales frente a otras superficies (a la vez que se distinguen diferencias en la estructura a la interna), a través del contraste que presenta la reflectividad de las plantas entre el rojo e infrarrojo. Por su parte con el NDII se pretende analizar el contenido de agua en la vegetación, a través del contraste entre las bandas del infrarrojo cercano y medio.

Por lo anteriormente expuesto, se eligió para este trabajo el producto MODIS MYD09GA el cual se adquiere en formato HDF-EOS a través de la página de la NASA. Dicho producto tiene la característica de brindar información diariamente, con una resolución espectral adecuada para el trabajo (7 bandas, entre las cuales se encuentran las de interés) y también con una resolución espacial aceptable de 500m.

#### 6.5. Otros datos

Importante también para la investigación es la adquisición de los datos meteorológicos, los cuales a los efectos de su utilización en el índice de riesgo estarán acotados a la temperatura máxima y humedad relativa mínima diaria, pero que al considerar el modelo de propagación se requerirá de otras variables (viento, por ejemplo) y en mayor cantidad (varios datos diarios). Para el modelo de propagación será también necesaria la obtención de datos topográficos que permitan entre otras cosas la elaboración de un modelo digital de terreno.

Se está trabajando también en la validación de la información de puntos calientes desarrollado por la Universidad de Maryland a partir de imágenes MODIS. Dicho trabajo realizado a partir de las bandas térmicas del MODIS genera puntos en la superficie cuya temperatura (superior a la del entorno) determinaría posibles focos de incendio. El trabajo, a verificarse con información de base de bomberos sobre un período de 5 años, permitiría evaluar la validez del producto en esta zona y a futuro la consideración de enriquecer nuestros aportes con los elaborados por este equipo estadounidense.

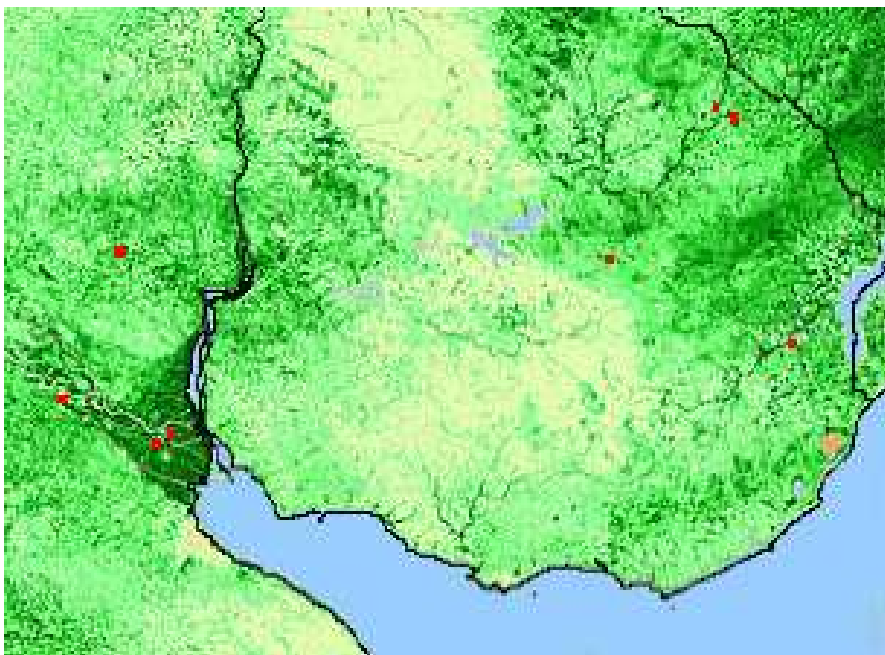


Imagen MODIS de índice de vegetación (NDVI) con puntos calientes 22/01/09

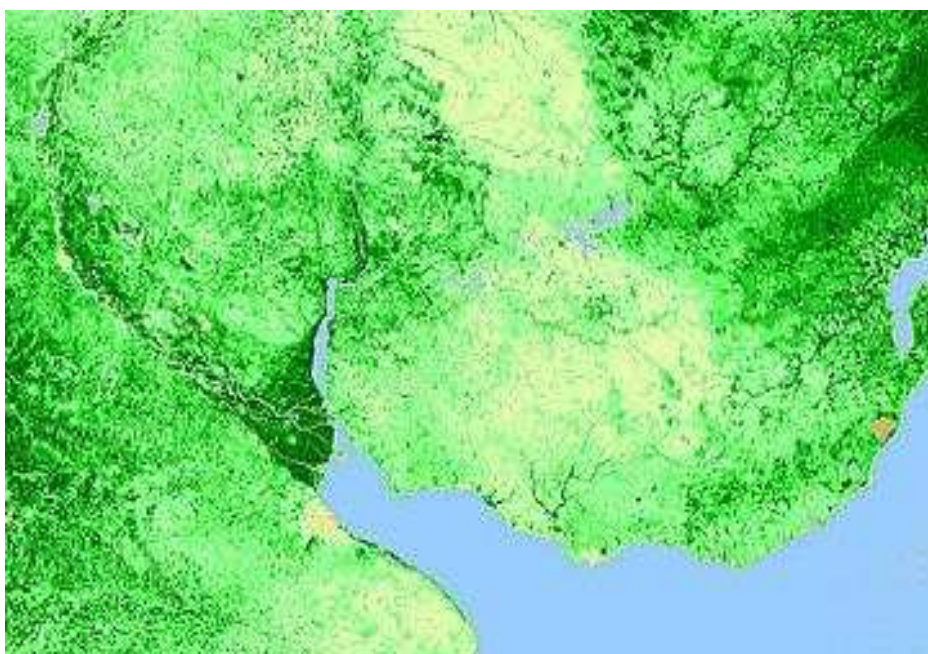


Imagen MODIS índice de vegetación (NDVI) 10/04/09

## 6.6. Evaluación del producto FIRMS

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	LATITUDE	LONGITUDE	BRIGHTNESS	SCAN	TRACK	ACQDATE	TIME	SATELLITE	CONFIDENCE			
2	-32.8060	-70.9540	326.8000	1.1000	1.0000	2009-05-31	0325	T	100.0000			
3	-32.4120	-65.5380	350.1000	1.4000	1.2000	2009-06-02	1410	T	95.0000			
4	-32.2620	-71.2640	327.5000	1.3000	1.1000	2009-06-01	1510	T	81.0000			
5	-32.2600	-71.2790	327.7000	1.3000	1.1000	2009-06-01	1510	T	81.0000			
6	-32.1850	-58.0650	312.8000	1.0000	1.0000	2009-06-01	1750	A	56.0000			
7	-31.7500	-56.1710	313.2000	1.0000	1.0000	2009-06-03	1740	A	57.0000			
8	-31.7490	-56.1610	345.6000	1.1000	1.0000	2009-06-04	1400	T	93.0000			
9	-31.7480	-56.1600	349.3000	1.0000	1.0000	2009-06-03	1740	A	95.0000			
10	-31.5010	-58.9690	314.8000	1.0000	1.0000	2009-06-04	1400	T	62.0000			
11	-31.4620	-68.3060	327.2000	1.0000	1.0000	2009-06-02	1835	A	80.0000			
12	-31.3250	-62.1480	338.9000	1.3000	1.1000	2009-06-01	1750	A	89.0000			
13	-29.7940	-62.8850	311.3000	1.9000	1.3000	2009-06-02	1835	A	47.0000			
14	-29.5860	-61.9850	312.1000	1.9000	1.3000	2009-06-03	1740	A	53.0000			
15	-29.3750	-61.9690	318.9000	1.9000	1.3000	2009-06-03	1740	A	37.0000			
16	-29.3680	-61.9840	336.2000	1.9000	1.3000	2009-06-03	1740	A	72.0000			
17	-29.3660	-61.9650	405.8000	1.9000	1.3000	2009-06-03	1740	A	100.0000			
18	-29.3640	-61.9450	327.3000	1.9000	1.3000	2009-06-03	1740	A	64.0000			
19	-29.3620	-61.9700	428.6000	1.9000	1.3000	2009-06-03	1740	A	100.0000			
20	-29.3610	-61.9510	381.2000	1.9000	1.3000	2009-06-03	1740	A	100.0000			
21	-29.3500	-61.9720	376.7000	1.9000	1.3000	2009-06-03	1740	A	100.0000			
22	-29.3480	-61.9520	361.2000	1.9000	1.3000	2009-06-03	1740	A	100.0000			
23	-28.8270	-62.1060	314.2000	1.2000	1.1000	2009-06-01	1750	A	60.0000			
24	-28.8250	-62.0930	333.4000	1.2000	1.1000	2009-06-01	1750	A	85.0000			
25	-28.8170	-62.1080	311.1000	1.2000	1.1000	2009-06-01	1750	A	46.0000			
26	-28.8110	-62.0980	318.6000	1.1000	1.0000	2009-06-02	1410	T	70.0000			
27	-28.7220	-59.3450	312.6000	1.3000	1.1000	2009-06-03	1740	A	55.0000			
28	-28.5190	-57.7200	311.6000	1.1000	1.0000	2009-06-03	1740	A	50.0000			
29	-28.4290	-66.3160	310.4000	1.3000	1.1000	2009-06-02	1835	A	32.0000			
30	-28.2480	-58.5710	321.0000	1.0000	1.0000	2009-06-01	1750	A	73.0000			
31	-28.2460	-58.5600	337.7000	1.0000	1.0000	2009-06-01	1750	A	88.0000			
32	-28.1100	-56.1310	314.6000	1.0000	1.0000	2009-06-03	1740	A	61.0000			

Tabla de datos de puntos calientes.

Fuente: FIRMS (fire information for resource management system) elaborado por la Universidad de Maryland, Estados Unidos

## 6.7. Capacitación

En el marco de esta investigación se ha participado de instancias de capacitación que a continuación detallamos:

- Participación en el curso sobre teledetección brindado por el docente argentino Carlos Di Bella, quien tiene experiencia en la temática de incendios. Duración: 4 días de 9:00hs a 17hs.
- Participación en el curso-taller avanzado de Gvsig brindado por Victoria Agazzi. Duración: 12hs.

## 7. Estrategia de investigación

### 7.1. Revisión bibliográfica

Como primer paso se realizó una revisión de libros, artículos y páginas web, las que pueden agruparse de la siguiente manera:

- Información de base respecto a la teledetección y la temática de incendios
- proyectos de investigación vinculados al riesgo y propagación de incendios
- análisis de diversos índices de riesgo de incendio utilizados en el mundo
- análisis de diversos índices basados en la utilización de bandas espectrales satelitales, con miras a incorporarlos al modelo desarrollado por estudiantes de Facultad de Ingeniería para el sistema GVSIG
- artículos varios presentados en la 4ª conferencia internacional sobre incendios forestales realizada en Sevilla, España, en el año 2007

## 7.2. Tratamiento digital de las imágenes satelitales

En lo que respecta al trabajo con las imágenes (anteriormente detallado) cabe destacar el trabajo previo que se realiza con las imágenes Landsat, ya que éstas se adquieren con correcciones mínimas. En este sentido el equipo trabaja en las necesarias correcciones atmosféricas y radiométricas puesto que los valores del satélite refieren a un tratamiento especial y no se condicen con los parámetros físicos, y además consideran a la atmósfera como una capa transparente (no consideran los efectos de absorción, reflexión, etc.).

También se realizan otros tratamientos con la intención de mejorar la calidad de la imagen. Para el caso de las imágenes MODIS no es necesario lo anterior puesto que las mismas ya vienen con las respectivas correcciones, mas si es preciso compatibilizar el formato de adquisición con el del software a utilizar, trabajo éste a coordinar con el grupo de ingeniería.

## 7.3. Los datos meteorológicos

Sobre este punto en particular se trabajará en talleres con técnicos y expertos en la materia para evaluar las condiciones de aplicabilidad a nuestro país de las fórmulas desarrolladas en el índice de riesgo a utilizar (el FPI), así como también para poner a consideración las distintas variables que se consideran importantes para tener en cuenta al momento de un incendio y sus efectos ponderados.

## 7.4. Salida de campo

Salidas de campo a zonas donde se desarrollaron incendios forestales este verano (Guazuvirá, Cerro de los Burros, Cerro del Toro).

Preparación de las salidas: información cartográfica, datos de los incendios, análisis de imágenes satelitales anteriores y posteriores a los incendios más importantes (por ej.: detección de posibles áreas quemadas), etc.

Salida: corroboración de áreas quemadas, visualización de posibles modelos de combustible forestal presentes en la zona de trabajo, estudio del desarrolló y efecto de los incendios.

Discusión y análisis post-salida: se evaluó la utilidad de las distintas bandas del satélite Landsat 5TM para la identificación de áreas quemadas. En este sentido es satisfactorio su uso, si bien en zonas arenosas de menor densidad de vegetación la respuesta puede estar distorsionada por la reflectividad del suelo. Podría utilizarse como base para la elaboración de una cartografía de áreas quemadas, aunque la resolución temporal de dicho satélite no sea quizá la más adecuada (se obtienen imágenes cada 16 días).

#### ÁREAS QUEMADAS VISUALIZADAS EN IMÁGENES SATELITALES EN LA ZONA DE GUAZUVIRÁ



## 7.5. Vínculos con el equipo del Instituto de Computación de la Facultad de Ingeniería

En el marco del presente trabajo se mantienen reuniones con dos grupos de estudiantes de ingeniería que están abocados al desarrollo más matemático de los modelos y a la adaptación de lo hecho para la nueva versión del software libre GVSIG. Para ambos casos se brinda la información necesaria para la puesta en marcha de los índices, lo que implica el empleo de fórmulas matemáticas y también el ajuste de las distintas formas de adquisición, ingreso y corrida de los datos.

La utilización del software GVSIG, además de todas las implicancias que un desarrollo libre y de código abierto conlleva, está dada por sus buenas capacidades vectoriales y su potencial raster que ha sido aumentado por la incorporación de la herramienta sextante, que en la próxima versión presentará importantes mejoras. Cabe destacar que Sextante es un proyecto desarrollado para la Junta de Extremadura por la Universidad de Extremadura, cuyo objetivo es desarrollar un Sistema de Información Geográfica, especialmente adaptado para la gestión forestal y los trabajos relacionados con la práctica forestal y la gestión ambiental en términos generales.

## 7.6. Relacionamiento con las instituciones

Además del vínculo con Facultad de Ingeniería a partir del trabajo desarrollado en conjunto con los grupos de estudiantes desde hace un año, la participación en reuniones devino en el acercamiento con actores tanto gubernamentales como académicos. En este sentido es importante el vínculo con la Intendencia de Canelones, interesada en coordinar con el equipo las distintas actividades necesarias para la implementación de la herramienta a desarrollar para la temporada de incendios próxima.

También se tiene contactos con la Dirección Nacional de Bomberos fundamental por su experiencia teórica, práctica y el potencial de la información histórica que han relevado en los últimos años. El Sistema Nacional de Emergencias es otro actor con el que también se está en contacto. A nivel académico además de contar con el apoyo de un ingeniero agrónomo que colabora de forma honoraria con el equipo se tienen vínculos con un grupo de expertos en la temática meteorológica de Facultad de Ciencias.

# 8. Índices de riesgo de incendio forestal

## 8.1. Índices meteorológicos de peligro de incendio

Estos índices utilizan datos meteorológicos para estimar la posibilidad de incendio. Algunos solo estiman el peligro de iniciarse un incendio, otros, más complejos, estiman no solo la posibilidad de ignición sino también de propagación.

Existen índices relativamente simples, que estiman en las teniendo en cuenta algunas variables físicas en relación a la humedad y su difusión en los combustibles, hasta índices complejos, que relacionan modelos teóricos y desarrollos empíricos, variables meteorológicas, tipos de combustible y comportamiento del fuego.

- **Nesterov:** Desarrollado en la antigua Unión Soviética, en relación a las condiciones climatológicas de estas regiones del planeta.
- **Telicyn:** También desarrollado en la antigua Unión Soviética, es un índice logarítmico que se adapta mejor en algunas regiones que el de Nesterov.
- **Monte Alegre ó de Soarez:** Desarrollado para ecosistemas húmedos de Brasil se ha demostrado su aplicabilidad en algunas provincias del norte y noreste argentino
- **Rodriguez Moretti:** Desarrollado para la región andino-patagónica, las variables que considera son: la temperatura, la humedad relativa, el viento y los días consecutivos con ó sin lluvia. Se asumió que cada una de las variables utilizadas explicaba un porcentaje del peligro total de propagación del fuego. Las dos primeras variables determinan la humedad y la resistencia a la ignición del combustible, la ocurrencia ó no de precipitación determina la alternancia entre períodos secos y húmedos. El peso asignado a cada variable se determinó utilizando el método Delphi
- **Riesgo Numérico Meteorológico:** desarrollado en Francia, estima el contenido de humedad de la vegetación viva a partir del balance hídrico del suelo y la humedad de la vegetación muerta a partir de una serie de variables meteorológicas. Este índice estima tanto la posibilidad de ignición como de propagación.
- **IREPI (Índice de Reducción Evapotranspiracional de Peligro de Incendios):** desarrollado en Italia, al igual que en el índice francés, se estima el agua en el suelo a través del balance hídrico, relacionándolo con el estado de la vegetación viva. Este índice solo estima la posibilidad de ignición.
- **Sistema Métrico de Peligro de Incendios de Mc Arthur:** Utilizado en Australia y en otros países con condiciones climatológicas similares, este índice fue desarrollado a partir del análisis de numerosos datos empíricos por Mc Arthur (1960).
- **Grado Actual de Peligro de Incendios Forestales:** desarrollado en España, estima el peligro de incendio mediante la aplicación de dos índices: uno dinámico, calculado a partir de variables meteorológicas y topográficas; y el otro estructural, teniendo en cuenta las estadísticas de frecuencia y causalidad de los incendios de los últimos años, y las características del combustible.
- **Sistema de Peligro de Incendio Forestal:** propuesto por el Joint Research Centre (JRC) de la Unión Europea. Como en el caso anterior, también incorpora un índice dinámico y otro estructural, pero en el primero toma en cuenta el estrés hídrico de la vegetación y las condiciones meteorológicas, y en el segundo la probabilidad de ocurrencia de incendios y la vulnerabilidad al daño.
- **NFDRS (Sistema Nacional de Clasificación de Peligro de Incendios):** desarrollado en EEUU, a partir de una fuerte fundamentación teórica de

matemáticas y física para analizar la humedad de los combustibles, y la utilización de experimentos de laboratorio para estudiar el comportamiento del fuego en relación con los tipos de combustible y los factores meteorológicos. Se estima tanto la posibilidad de ignición como la de propagación del fuego.

- **Sistema Canadiense FWI (Índice Meteorológico de Incendios Forestales):** Este sistema es uno de los más importantes del mundo, es utilizado en todo Canadá y estima la posibilidad de ignición y de propagación del fuego. Utiliza los datos meteorológicos diarios de temperatura, humedad relativa, velocidad del viento y lluvias. Está integrado por seis componentes, los tres primeros son códigos que estiman el contenido de humedad en el combustible; el primero (FFMC) en la hojarasca y otros combustibles finos; el segundo (DMC) de las capas orgánicas poco profundas y combustible de tamaño medio; el tercero (DC) de las capas orgánicas profundas y grandes troncos.
- Los otros tres componentes son índices del comportamiento del fuego; el Índice de Propagación Inicial (ISI) combina los efectos del viento con el FFMC y estima la tasa de propagación del fuego; el Índice de Acumulación (BUI) combina el DMC y el DC, estima la cantidad de combustible disponible para la combustión; el Índice Meteorológico de Incendios (FWI) combina el ISI y el BUI, estima la intensidad del fuego y es un índice general de peligrosidad de incendios forestales en Canadá.

## 8.2. Incorporación de imágenes satelitales en los índices de peligro de incendio

Entre las herramientas que se han incorporado al esfuerzo por estimar el riesgo de incendios y el comportamiento del fuego, se encuentran las Imágenes Satelitales. En consecuencia algunos índices de riesgo de incendio incorporan el resultado del análisis de estas últimas.

Un caso destacado es el del FPI, ya que ha sido pensado para la incorporación de estas herramientas y sus productos, los cuales se incorporan en el cálculo del índice.

**FPI (Índice de Potencial de Incendios):** Desarrollado por Burgan para la región mediterránea de los Estados Unidos ha sido adaptado para las regiones bioclimáticas del sur de Europa y las evaluaciones realizadas han resultado positivas. Es un índice que considera el estado del combustible fino muerto y el contenido de vegetación viva. Utiliza variables meteorológicas, como la temperatura y humedad relativa, para estimar la humedad presente en el combustible fino muerto (en este caso de hasta 10 horas). Esta humedad estimada se compara con la humedad de extinción (humedad por encima de la cual no tomaría fuego el combustible) que es característica del modelo de combustible presente. A la vez que para estimar el vigor de la vegetación se realiza un análisis de imágenes satelitales para obtener los valores del NDVI (Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada) y el NDII (Índice Infrarrojo de Diferencia Normalizada).

### 8.3. Selección del índice

Del análisis conjunto de la revisión bibliográfica, el trabajo de campo y su posterior evaluación, surge del equipo de trabajo la decisión de tomar como base para el desarrollo y la aplicación de un índice de riesgo de incendio el FPI (Fire Potencial Index).

El hecho de trabajar con imágenes satelitales nos proporciona información directa del estado de la vegetación. Información que se obtiene en forma espacialmente continua y con una importante repetitividad temporal, todo lo cual facilita su sistematización y análisis.

A lo ya expresado hay que agregar que, al ser un índice relativamente sencillo se facilita su aplicación y evaluación. Lo cual es importante en el estado actual de desarrollo de la temática en el país, ya que a partir de la experiencia acumulada y el trabajo sistemático se podrán incorporar mejoras, adaptándolo cada vez más a la realidad de nuestro territorio.

## 9. Los modelos de combustibles vegetales

Un aspecto muy importante a definir es la caracterización de los combustibles presentes en el área de trabajo, llamada modelos de combustible. Esto es, en definitiva, la caracterización del tipo y estado de la vegetación que podría quemarse en un incendio. Esta incluye tanto vegetación viva como muerta.

Esta información cobra gran importancia para realizar acciones antes, durante y después de un incendio forestal, ya que la vegetación es el principal carburante de este tipo de incendios:

- A la hora de la prevención de incendios se utiliza en la estimación del peligro de incendio, siendo una de las variables tomadas en cuenta en los índices aplicados para este fin. También se puede utilizar al decidir donde realizar limpiezas de combustibles para disminuir el impacto de los posibles incendios, y para la planificación de fuegos prescritos.
- En la predicción del comportamiento del fuego en un incendio, se utiliza en la modelización del mismo.
- En la detección de incendios, es importante considerar los modelos de combustible presentes, en la planificación de torres de vigilancia y patrullas aéreas, destinadas a este fin, tomando en cuenta las zonas de mayor peligro de incendio.
- A la hora del trabajo de extinción de un incendio se utiliza para decidir donde son más necesarios los cortafuegos y maquinarias de extinción.
- En la evaluación de los incendios, se toma en cuenta para la evaluación de los daños causados, en el análisis de áreas quemadas. También en la evaluación de los efectos a largo plazo donde se pueden estudiar los cambios en los ecosistemas y la regeneración de la vegetación.

## IMÁGENES REPRESENTATIVAS DE LOS MODELOS DE COMBUSTIBLE PRESENTES EN GUAZUVIRA



Los modelos de combustible describen características físicas de la vegetación en su conjunto y no el tipo de especie que se encuentra presente. Las tipologías están integradas por distintas características de la vegetación: carga de biomasa, la altura de la vegetación o de los diferentes estratos que la componen, la humedad promedio, etc. A partir de los modelos de combustible y su identificación en el territorio se produce una cartografía de combustibles para su mejor utilización en las aplicaciones ya comentadas.

La clasificación más difundida es la desarrollada por Albini en 1976, basada en la propuesta por Rothermel en 1972, utilizada en el programa de simulación del comportamiento del fuego *Behave*.

Esta clasificación está basada en cuatro grupos de combustible, dependiendo de cuál es el elemento por donde se propaga el fuego, que luego se subdividen en trece. Tres del subgrupo de pastos, cuatro del de matorral, tres de hojarasca bajo el arbolado y tres de residuos de corta.

En cada categoría se detallan: la carga de combustible muerto (en  $\text{kg/m}^2$ ) de 1, 10 y 100 horas, la carga de combustible vivo (también en  $\text{kg/m}^2$ ), el espesor del estrato combustible (en cm) y la humedad de extinción (en porcentaje de humedad).

Las trece categorías que consideran son:

**MODELO 1 (GRUPO PASTOS):** PASTO FINO, SECO Y BAJO (POR DEBAJO DE LA RODILLA, HASTA 30 CM), QUE RECUBRE TOTALMENTE EL SUELO. EL MATORRAL O ARBOLADO, SI HAY, SE ENCUENTRA DISPERSO CUBRIENDO MENOS DE UN TERCIO DE LA SUPERFICIE. HUMEDAD DE EXTINCIÓN = 12%.

**MODELO 2 (GRUPO PASTOS):** SIMILAR AL MODELO 1 PERO DONDE EL MATORRAL O ARBOLADO CUBRE DE UNO A DOS TERCIOS DE LA SUPERFICIE. HUMEDAD DE EXTINCIÓN = 15%.

**MODELO 3 (GRUPO PASTOS):** PASTO GRUESO, ESPESO, SECO Y ALTO (ALREDEDOR DE UN METRO). LOS CAMPOS DE CEREALES SON REPRESENTATIVOS DE ESTE MODELO. HUMEDAD DE EXTINCIÓN = 25%.

**MODELO 4 (GRUPO MATORRAL):** MATORRAL O ARBOLADO JOVEN MUY DENSO (DE UNOS 2 METROS DE ALTURA). CONTINUIDAD HORIZONTAL Y VERTICAL DEL COMBUSTIBLE. LA HUMEDAD DEL COMBUSTIBLE VIVO TIENE GRAN INFLUENCIA EN EL COMPORTAMIENTO DEL FUEGO. HUMEDAD DE EXTINCIÓN = 20%.

**MODELO 5 (GRUPO MATORRAL):** MATORRAL DENSO Y JOVEN, PERO BAJO (SEGÚN ALGUNOS ARTÍCULOS HASTA UN METRO DE ALTURA Y SEGÚN OTROS HASTA 0,6 METROS). Poca presencia de material leñoso muerto. HUMEDAD DE EXTINCIÓN = 20%.

**MODELO 6 (GRUPO MATORRAL):** MATORRAL SIMILAR AL MODELO 5 PERO MÁS ALTO (SEGÚN ALGUNOS ARTÍCULOS MÁS DE UN METRO DE ALTURA Y SEGÚN OTROS DE 0,6 HASTA 1,2 METROS). CON MENOS COMBUSTIBLE VIVO QUE EN EL MODELO 5, EL CONJUNTO ES MÁS INFLAMABLE QUE DICHO MODELO. HUMEDAD DE EXTINCIÓN = 25%.

**MODELO 7 (GRUPO MATORRAL):** MATORRAL MUY INFLAMABLE, DE HASTA 2 METROS DE ALTURA, O PINARES DE SOTOBOSQUE. EL INCENDIO SE DESARROLLA CON MAYORES CONTENIDOS DE HUMEDAD DEL COMBUSTIBLE MUERTO QUE EN OTROS MODELOS. HUMEDAD DE EXTINCIÓN = 40%.

**MODELO 8 (GRUPO HOJARASCA BAJO EL ARBOLADO):** LA HOJARASCA FORMA UNA CAPA COMPACTA, INTEGRADA POR ACÍCULAS CORTAS (5CM O MENOS) O POR HOJAS PLANAS NO MUY GRANDES. POCO O NULA PRESENCIA DE MATORRAL. HUMEDAD DE EXTINCIÓN = 30%.

**MODELO 9 (GRUPO HOJARASCA BAJO EL ARBOLADO):** SIMILAR AL MODELO 8, PERO DONDE LA CAPA DE HOJARASCA ES MENOS COMPACTA, MÁS ESPONJOSA Y CON MUCHO AIRE INTERPUESTO. LA CAPA ESTÁ INTEGRADA POR ACÍCULAS LARGAS O POR HOJAS GRANDES Y RIZADAS. HUMEDAD DE EXTINCIÓN = 25%.

**MODELO 10 (GRUPO HOJARASCA BAJO EL ARBOLADO):** BOSQUE CON MATERIAL LEÑOSO CAÍDO NATURALMENTE COMO CONSECUENCIA DE VIENTOS, PLAGAS, MADUREZ DE LA MASA VEGETAL, ETC. PRESENCIA DE VEGETACIÓN HERBÁCEA Y MATORRAL QUE CRECE ENTRE LOS RESTOS LEÑOSOS. HUMEDAD DE EXTINCIÓN = 25%.

**MODELO 11 (GRUPO RESTOS DE CORTA):** RESTOS LIGEROS (CON DIÁMETROS MENORES A LOS 76MM) RECIENTES, RESTOS DE PODA Y ZONAS ACLARADAS CON PLANTAS HERBÁCEAS REBROTANDO. LOS RESTOS FORMAN UNA CAPA POCO COMPACTA DE HASTA 30 CM DE ALTO. HUMEDAD DE EXTINCIÓN = 15%.

**MODELO 12 (GRUPO RESTOS DE CORTA):** RESTOS MÁS PESADOS QUE EN EL MODELO 11 (DE DIÁMETROS MENORES A LOS 76MM), PREDOMINAN LOS RESTOS SOBRE EL ARBOLADO, NO HAY COMBUSTIBLES VIVOS QUE INFLUYAN EN EL FUEGO. LOS RESTOS FORMAN UNA CAPA POCO COMPACTA DE HASTA DE 60 CM DE ALTO. HUMEDAD DE EXTINCIÓN = 20%.

MODELO 13 (GRUPO RESTOS DE CORTA): GRANDES ACUMULACIONES DE RESTOS GRUESOS (DE DIÁMETROS MAYORES A LOS 76MM), CUBRIENDO TODO EL SUELO. HUMEDAD DE EXTINCIÓN = 25%.

Otra clasificación de modelos de combustibles es la desarrollada en el masco del programa europeo Prometheus, pensado para aplicarlo a la vegetación mediterránea. Está integrado por siete modelos:

Modelo 1: pastos.

Modelo 2: matorral (de 0,30 a 0,60 mts).

Modelo 3: matorral (de 0,60 a 2,00 mts).

Modelo 4: matorral (de 2,00 a 4,00 mts).

Modelo 5: bosque sin combustibles de superficie (sin arbustos ni pasto).

Modelo 6: bosque con combustibles de superficie, con diferencia de altura entre los arbustos y las copas de los arboles.

Modelo 7: bosque con combustibles de superficie, sin diferencia de altura entre los arbustos y las copas de los arboles.

Al igual que en la clasificación anterior en cada categoría se detallan la carga de combustible vivo y muerto y el espesor del estrato combustible, pero considera la misma humedad de extinción para todos los modelos de combustible que considera (30 %).

La clasificación FCC (clases características de combustible), que se deriva del sistema de clasificación de vegetación de Estados Unidos (USNVCS), es en extremo detallada y compleja.

Por cada especie dominante o alianza del USNVCS existe un conjunto de FCCs. Cada conjunto presenta tres gradientes: carga de combustible, estructura (edad) y cobertura vegetal. Un cuarto gradiente incluye variables tales como masa, longitud, densidad, variabilidad espacial, composición del sotobosque, etc. Como cada gradiente se divide en bajo, medio y alto, por lo cual cada conjunto presenta por lo menos 81 FCC.

El modelo de combustible que se escogió para utilizar en este trabajo es el de Rothermel-Albini, una clasificación ampliamente utilizada en el mundo, factible de ser empleado, tanto si se piensa en evaluar el peligro de incendio, como para modelar el comportamiento del fuego. Entre las características más importantes que se tiene en cuenta a la hora de la decidir su elección, es la de detallar la humedad de extinción de cada una de las categorías que presenta, imprescindible para la instrumentación del índice de peligro de incendio FPI.

## 10. Resultados

Se definió que el software a utilizar en el Sistema de Información Geográfica sea GVsig. En tal sentido el equipo de Ingeniería en Computación desarrollo el SIGNEO como una aplicación de SEXTANTE dentro de GVsig.

Los actuales grupos de trabajo de Ingeniería en Computación están incorporando a SIGNEO los índices de riesgo elegidos, mejorando la interfase y adaptándolo a la nueva versión de GVsig.

Se resolvió que el índice de riesgo con el cual se va trabajar sea el FPI conjuntamente con el modelo de combustibles forestales de Rothermel- Albini.

Para el desarrollo del trabajo se decidió usar imágenes Landsat para la cartografía de combustibles y el área piloto, así como imágenes MODIS para la elaboración del NDVI y el NDII en toda el área de estudio.

Se llegó a la conclusión de que para el caso de las imágenes Landsat la composición de bandas óptimas para el trabajo de identificación de áreas quemadas son la 543 y la 743.

Se georreferenciaron áreas quemadas a partir del análisis de imágenes satelitales Landsat, en los incendios ocurridos en Guazubirá y Pirlópolis, en la temporada 2008-2009.

Se llevaron a cabo salidas de campo que permitieron corroborar la estimación, realizada en gabinete, de áreas quemadas, y la visualización de los modelos de combustibles presentes en el área piloto.

Se identificaron bases de datos relevantes para la temática, entre ellos, los informes de Partes de Incendio de bomberos (Dirección Nacional de Bomberos), datos meteorológicos varios (Dirección Nacional de Meteorología) y puntos calientes a partir de imágenes MODIS (información procedente del programa FIRMS de la Universidad de Maryland)

## 11. Conclusiones

El trabajo para la elaboración y producción de un Sistema de Información Geográfico para la prevención y control de incendios en la zona costera ha sido en términos generales positivo. Desde este punto de vista la búsqueda e integración de las distintas fuentes de datos, así como la discusión en torno a las formas de procesarlas ha sido central y es en lo que se dedicó la mayor cantidad de tiempo y esfuerzo.

Una vez culminada esta etapa el proceso de incorporar nuevos actores al trabajo está siendo desarrollado, fundamentalmente en lo referido al índice de riesgo de incendio. La principal limitante ha sido la implementación de una cartografía de modelos combustibles que ha debido desarrollarse desde cero. También es un aspecto a mejorar el ajuste del modelo de comportamiento del fuego.

Actualmente se trabaja en una extrapolación de los modelos a un área más extensa y se prevé la capacitación de actores locales en la identificación de los diferentes modelos. Asimismo se está diseñando una base de datos para recoger los datos de partes históricos de incendios, considerando la continuidad de estos registros y su análisis estadístico.

## 12. Bibliografía

Anderson, Hal, "Aids to determining fuel models for estimating fire behavior" (1982)

Aurelio Bermúdez, Rafael Casado, Eva M. García, Álvaro Gómez, Francisco J. Quiles, J. Reyes Ruiz-Gallardo, Empleo de una red de sensores en el reajuste de modelos de comportamiento del fuego en incendios forestales, (2007).

Bachisio Arca, Pierpaolo Duce, Grazia Pellizzaro, Valentina Bacciu, Michele Salis, Donatella Spano, Evaluation of Farsite Simulator in a Mediterranean Area, (2007).

Bosque Sendra, J., Díaz Castillo, C., Díaz Muñoz, M. A., Gómez Delgado, M., González Ferreiro, D., Rodríguez Espinosa, V. M., Salado García, M. J. (2004). Propuesta metodológica para caracterizar las áreas expuestas a riesgos tecnológicos mediante SIG. Aplicación en la Comunidad de Madrid, GeoFocus (Artículos), nº 4, p. 44-78. ISSN: 1578-5157

Calle Montes et al, "Diseño de un GIS para el seguimiento evolutivo de procesos agrícolas y forestales mediante datos NOAA-AVHRR" (1999)

Cardona, Omar (Editor) (2003). La noción de riesgo desde la perspectiva de los desastres. Marco conceptual para su gestión integral. Programa BID/IDEA, Manizales. Disponible en: <http://idea.manizales.unal.edu.co/ProyectosEspeciales/adminIDEA/CentroDocumentacion/DocDigitales/documentos/01%20Marco%20Conceptual%20BID-IDEA%20Fase%20I.pdf> Accedido el 1 de febrero de 2007.

Chardon, Anne-Catherine; González, Juan (2002). Amenaza, vulnerabilidad, riesgo, desastre, mitigación, prevención.... primer acercamiento a conceptos, características y metodologías de análisis y evaluación. Programa de información e indicadores de gestión de riesgos. Ejecución del componente II Indicadores para la gestión de riesgos BID - CEPAL – IDEA, Manizales.

Chuvienco et al, "Estimación del estado hídrico de la vegetación a partir de sensores de alta y baja resolución" (2001)

Chuvienco, "Teledetección Ambiental", editorial Ariel, 2002

Chuvienco, Emilio y Martín, María del Pilar (editores), "Nuevas tecnologías para la estimación del riesgo de incendios forestales", Consejo Superior de Informaciones Científicas, Madrid, 2004.

Cortés, Armando y Chuvienco Salinero, Emilio, "Cartografía de tipo de combustibles en una región del Durango, México, mediante imágenes de satélite" (2005).

David Roy, Luigi Boschetti, MODIS Collection 5 Burned Area Product MCD45 User's Guide, Version 1.1, (2008).

F Xavier Castro, Antoni Tudela, David Montserrat, Esteve Canyameres, Eva Gabriel de Francisco, Aproximación a la modelización de la superficie afectada por los incendios forestales en Catalunya en función de variables meteorológicas e índices meteorológicos de riesgo (2007).

Giuseppe Amatulli, Andrea Camia, Exploring the relationships of fire occurrence variables by means of CART and MARS models (2007).

Huesca Martinez, Margarita et al, "Forest fire potential index for Navarra autonomic community (Spain)"

Joe H. Scott, Robert E. Burgan, Standard Fire Behavior Fuel Models: A Comprehensive Set for Use with Rothermel's Surface Fire Spread Model, (2006).

Lavell, Allan (1999). Gestión de Riesgos Ambientales Urbanos. Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales y La Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina-LA RED. Disponible en: <http://www.desenredando.org/public/articulos/1999/grau/index.html>. Accedido el 29 de enero de 2007.

Lavell, Allan (2001). Sobre la Gestión del Riesgo: Apuntes hacia una Definición. Disponible en: <http://www.onu.org.cu/havanarisk/documents/RiesgoDe.PDF> Accedido el 29 de enero de 2007.

Louis Giglio, MODIS Collection 4 Active Fire Product User's Guide Version 2.3, Science Systems and Applications, Inc. 28 February (2007).

Meneses y da Silva (organizadores), "Sensoramiento Remoto. Reflectancia dos alvos naturais" Editora Universidad de Brasília, 2001.

Miguel A. Copete, José A. Monreal, Mariano Selva, Luis Fernández Cernuda y Esteban Jordán, Análisis de los incendios forestales en Castilla-La Mancha. Detección de áreas potencialmente peligrosas (2007).

Ministerio de Turismo y Deporte (2008). Anuario estadístico 2007

Olcina Cantos, Jorge (2006). Riesgos naturales y tecnológicos y ordenación del territorio. 2ª Parte Universidad Internacional de Andalucía. Disponible en: [http://www.unia.es/nuevo\\_inf\\_academica/visualizar\\_file\\_Adjunto.asp?ID=2189](http://www.unia.es/nuevo_inf_academica/visualizar_file_Adjunto.asp?ID=2189) Accedido el 7 de marzo de 2007.

Pedernera et al, "Vigencia del índice de riesgo de incendios forestales"

Sebastián et al, "Calibration of the fire potencial index in different seasons and bioclimatic regions of southern Europe" (2007)

Stratton, Richard. 2006. Guidance on spatial wildland fire analysis: models, tools and techniques

Teresa Mata, José Ángel Burriel, Joan Josep Ibàñez, Jordi Vayreda, Mapas de modelos de combustible y de modelos de inflamabilidad en Cataluña, (2007).

Torres-Rojo et al, "Índice de peligro de incendios forestales de largo plazo" (2007)

Vilar del Hoyo, L., Gómez Nieto, I., Martín Isabel, M.P., Martínez Vega, Análisis comparativo de diferentes métodos para la obtención de modelos de riesgo humano de incendios forestales (2007).

Vilar del Hoyo, L. et al. Análisis comparativo de diferentes métodos para la obtención de modelos de riesgo humano de incendios forestales

<http://www.bomberos.gub.uy>

F.J. Salas y E. Chuvieco ("Aplicación de imágenes Landsat TM a la realización de cartografía de modelos combustibles"; Revista de teledetección 1995).

Emilio Chuvieco, M. Pilar Martín, Jesús Martínez, F. Javier Salas ("Geografía e incendios forestales"; Serie geográfica: Vol 7; 1998).

## ANEXOS

## ANEXO 1

### Bosquejo de bases de datos fundamentales para analizar riesgos

<b>Generales</b>
Datos históricos de desastres naturales y eventos extremos localizados
Datos espaciales provenientes de imágenes satelitales
Datos de estaciones meteorológicas
Datos socioeconómicos: población, índice de pobreza, renta, salud, educación, calidad y tipo de vivienda
Datos de campo: cuestionarios, evaluaciones de daños y perjuicios
<b>Amenaza: Inundación</b>
Datos de precipitaciones
Datos espaciales provenientes de imágenes TRMM
Datos del Modelo mesoescala WRF
Datos de ocurrencias: histórico de inundaciones
Datos de caudales
Modelo numérico de terreno
<b>Amenaza: Incendios</b>
Datos de cobertura del suelo (una capa de información para cada estación)
Modelo digital de terreno: con subproducto pendiente e insolación
Datos de humedad
Datos de temperatura
Datos de vientos
Datos de precipitaciones
Histórico de incendios: ocurrencia de siniestros y afectaciones
Información socioeconómica
Inventario de ecosistemas
Inventario de instalaciones vinculadas a la producción de energía
Inventario de instalaciones (caminería, hospitales, complejos deportivos para atender el peligro y el posdesastre, destacamento de bomberos y privados)
Inventario de espejos de agua
Datos de Índice de verdor (imágenes Modis)

Datos de combustibles vegetales

**Amenaza: Fuertes vientos**

Cobertura del suelo (una para cada estación)

Modelo digital de terreno

Datos de vientos

Datos de precipitaciones

Histórico de eventos

Información socioeconómica

Instalaciones (caminería, hospitales, complejos deportivos para atender el peligro y el pos desastre, destacamento de bomberos y privados)

Instalaciones vinculadas a la producción de energía

**Amenaza: Transporte de sustancias peligrosas**

Cobertura del suelo (una para cada estación)

Modelo digital de terreno (pendiente, insolación)

Humedad, temperatura, vientos, precipitaciones

Base de datos de histórico de accidentes (MTOPI-DINAMA-Prefectura-bomberos)

Información socioeconómica

Inventario de ecosistemas

Base de datos de rutas de tránsito terrestres y marinas (MTOPI-Prefectura)

Instalaciones (hospitales, complejos deportivos para atender el peligro y el pos desastre, destacamento de bomberos y privados)

Inventario de espejos de agua

Tipo de sedimentos

Tipo de suelos

## ANEXO 2

### Muestra de imágenes satelitales MODIS con información sobre anomalías térmicas (*hot spots*) del terreno

04/01/08 Satélite TERRA



**AERONET\_CEILAP-BA Subset - Terra metadata for 2009/004 (01/04/09) subset:**

AERONET\_CEILAP-BA

date: 2009004 (01/04/09)

satellite: Terra

projection: Plate Carree

projection center lon: 0.0000

projection center lat: 0.0000

UL lon: -63.7684

UL lat: -31.3312

UR lon: -53.2289

UR lat: -31.3312

LR lon: -53.2289

LR lat: -37.8063

LL lon: -63.7684

LL lat: -37.8063

x scale factor: +0.8191533437702615

ellipsoid: WGS84

**5 minute swath data used for this image:**

[13:55 UTC](#)

**03/01/09 Satélite AQUA**



**AERONET\_CEILAP-BA Subset - Aqua metadata for 2009/003 (01/03/09) subset:**

AERONET\_CEILAP-BA

date: 2009003 (01/03/09)

satellite: Aqua

projection: Plate Carree

projection center lon: 0.0000

projection center lat: 0.0000

UL lon: -63.7684

UL lat: -31.3312

UR lon: -53.2289

UR lat: -31.3312

LR lon: -53.2289

LR lat: -37.8063

LL lon: -63.7684

LL lat: -37.8063

x scale factor: +0.8191533437702615

ellipsoid: WGS84

**5 minute swath data used for this image:**

[17:30 UTC](#)

[19:05 UTC](#)

[19:10 UTC](#)

### ANEXO 3

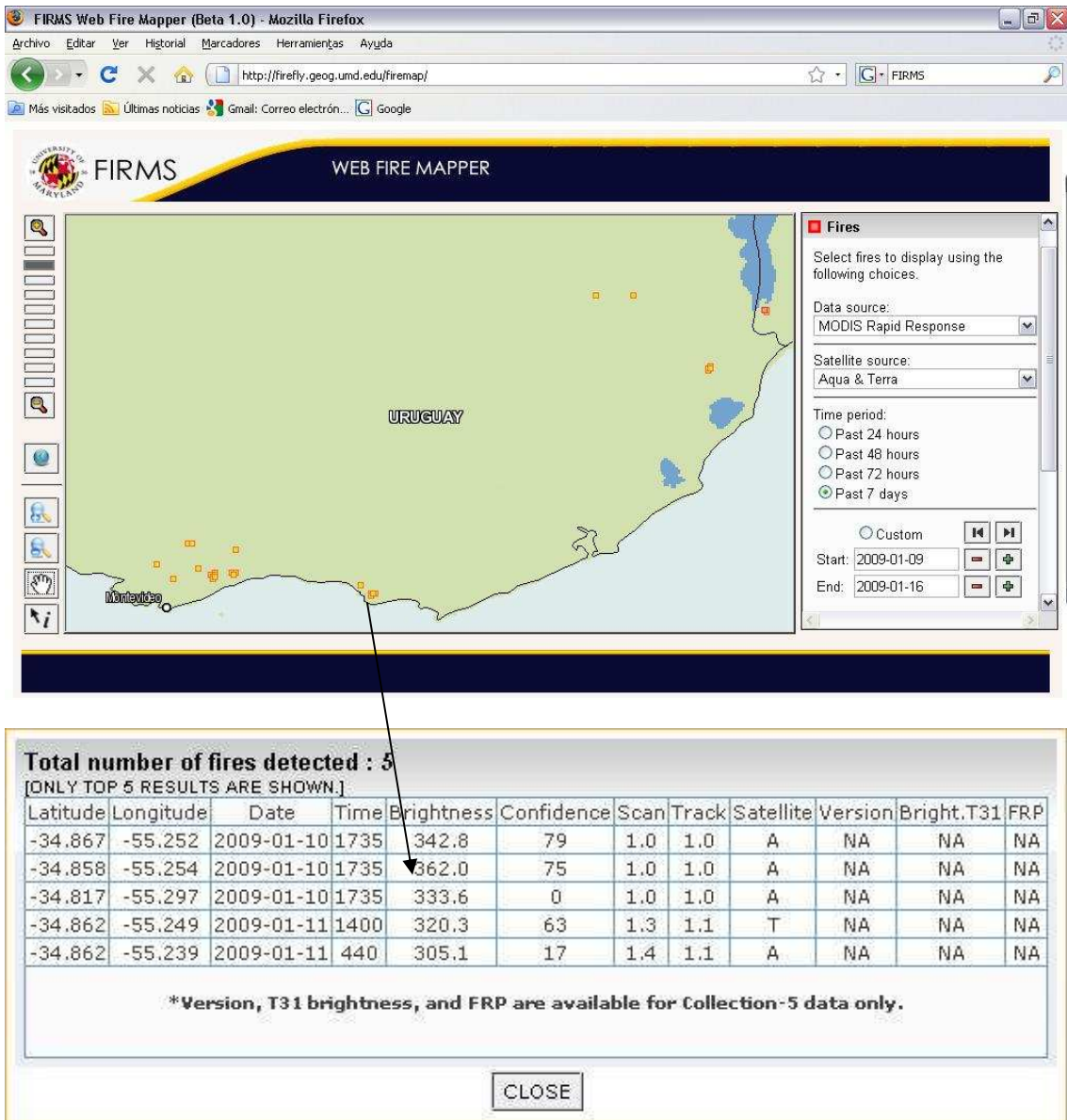
Listado de incendios temporada 2008-2009 según prensa (Información a ampliar)  
Fuentes: Diarios "El País" y "La República"

Fecha	Departamento	Área quemada (há.)	Tipo incendio	Anomalías térmicas	
				Terra	Aqua
28/10/2008	Canelones (Neptunia)		Forestal - pastizales	0	0
24/11/2008	Canelones (Guazuvirá)	150	Forestal	0	0
07/12/2008	Montevideo (parque Lecqoc)	1		0	1
07/12/2008	Florida	70	Campo	0	1
08/12/2008	Soriano (Mercedes)		Planta industrial PAMER	1	0
08/12/2008	Soriano (Mercedes)	40	Campo	1	0
08/12/2008	Soriano (Mercedes)	100	Campo - Forestal	1	0
08/12/2008	Cerro Largo	10ha.	Campo	0	0
11/12/2008	Florida (Casupá)	200	Campo	0	0
12/12/2008	Maldonado	15		0	0
17/12/2008	Canelones		Pastizales	0	0
20/12/2008	Florida	200	Campo	0	0
20/12/2008	Canelones		Campo	0	1
21/12/2008	Paysandú	15	Campo	0	0
27/12/2008	Canelones (Suárez)	39	Forestal	0	1
27/12/2008	Canelones (Bello Horizonte)	80	Forestal	0	0
27/12/2008	Florida	20	Campo	0	0
27/12/2008	Florida	20	Campo	0	0

29/12/2008	Montevideo		Campo	0	0
01/01/2009	Canelones (Villa Argentina)	100	Forestal	0	0
01/01/2009	Salto (Belén)	800	Campo	0	0
01/01/2009	Salto	6000	Campo	0	0
03/01/2009	Paysandú		Aserradero	0	1
04/01/2009	Suarez y Toledo		Pastizales	0	0
04/01/2009	Km 173 ruta 3	27	Campo	0	0
05/01/2009	Rocha (Punta del diablo)			0	1
05/01/2009	Rocha ( Playa El Caracol)			0	0

ANEXO 4

Producto FIRMS – Imagen de puntos calientes en la costa uruguaya para el período comprendido entre 09/01/09 y 16/01/09



---

## ANEXO 5

### 1. Estudio comparativo de herramientas SIG de uso libre

#### 1.1. Objetivo

Nuestro proyecto debe considerar hacer análisis de datos provenientes de sistemas geográficos y meteorológicos e interrelacionarlos, realizar un procesamiento de la información, generar una capa de información y visualizarla posteriormente.

Los puntos que intentaremos evaluar a partir de la documentación existente son:

- Condiciones de uso del software, licencias.
- Interfaz amigable.
- Sencillez en el manejo de sus herramientas.
- Agilidad en la edición.
- Herramientas de análisis.
- Requerimientos de hardware, sistemas operativos y lenguaje en el que se desarrollo (multiplataforma).
- Grado de madurez de la aplicación según el tiempo de permanencia en el mercado, la frecuencia de liberación de nuevas versiones, si esta en pleno desarrollo, etc.
- Existencia de una comunidad de desarrolladores.
- Idioma de la documentación disponible y actualización de esta.
- Acceso a información local y remota.
- Capacidad de importación y exportación de muchos formatos de datos (interoperabilidad).
- Facilidad para agregar nuevas funcionalidades.
- Facilidad de interconexión del visualizador con otras aplicaciones.
- Eficiencia en el manejo de sistemas de referencia.

#### 1.2. Características generales de las herramientas

##### 1.2.1. Quantum SIG

Es un SIG con apariencia muy cuidada que posee algunas características muy interesantes, tales como edición de topología con GRASS integrada en el propio programa, soporte directo para edición en PostGIS, y buen número de formatos soportados, tanto vectoriales como matriciales. Esta basado en la interfaz grafica Qt.

Permite añadir datos y cambiar la simbología de forma fácil y fiable.

Tiene una filosofía de plugins.

Como desventaja debemos citar que no dispone de herramientas de análisis.

### 1.2.2. Kosmo

Se desarrollo con la idea de integrar todo lo que se encuentra desarrollado y lo que se esta desarrollando por multitud de técnicos en otros proyectos de software libre SIG.

Se inicia en el 2006 pero en los primeros 10 meses se liberaron 5 versiones.

Basado en estándares proporciona la tecnología para participar en infraestructuras de datos espaciales.

Realizado en Java sobre la base de JUMP y con integración de librerías GeoTools y Java Topology Suite.

### 1.2.3. gvSIG

Es un software con buenas capacidades vectoriales. Su potencial ráster ha aumentado considerablemente desde la reciente liberación del piloto ráster y la migración del proyecto SEXTANTE sobre gvSIG. Recientemente ha incluido funcionalidades 3D, una herramienta de optimización de rutas, así como un módulo de gestión de sistemas de referencia.

Es fácilmente internacionalizable.

## 1.3. Comparación detallada de las herramientas

En la siguiente planilla se muestran las características de cada una de las herramientas.

	<b>QGIS</b>	<b>KOSMO</b>	<b>gvSIG</b>
<b>Lenguaje</b>	C++	Java	Java
<b>Tipo</b>	GIS Desktop, open source	GIS Desktop, open source	GIS Desktop, open source
<b>Idiomas Español e Ingles?</b>	Si	Si	Si
<b>Primera versión</b>	2002	2006	2004
<b>Última versión a la fecha 26/04/2008</b>	06/01/2008	21/02/2008	04/03/2008

Licencia	GNU GPL	GNU GPL	GNU GPL
<b>Requerimientos S O / HW</b>	SO: Linux, Unix, Mac OSX, y Windows 2000 y XP.	Mínimos: Pentium III / 128MB RAM, Recomendados: Pentium IV / 512 MB RAM, SO: Sistemas operativos: Windows (98 y superior), Unix/Linux.	Mínimos: Pentium III / 256 MB RAM, Recomendados: Pentium IV / 512 MB RAM, SO: Windows - Unix/Linux – Macintosh (Probado en Win98/XP, Linux Ubuntu 6.x y 7.x, Linux Suse 8.2/9.0 y Macintosh OSX 10.4)
<b>Base de datos y Geodatabase</b>	PostGIS, Oracle.	PostGIS, MySQL y Oracle.	PostGIS y MySQL (mediante JDBC), HSQLDB y Oracle.
<b>Acceso a información remota</b>	Soporta WMS y WFS como fuentes de datos. El soporte de WMS es nativo. WFS se implementa usando un plugin.	Es cliente IDE. La información remota será devuelta a través de servicios web OGC. Servidores espaciales: WMS, WFS-T, SIG-Web, clientes ligeros: “tradicional”, WMS, “WMS-Plus”, WFS-T.	Es cliente IDE. La información remota será devuelta a través de servicios web OGC como WMS, WCS, WFS. Puede también acceder a otros servicios web que proveen información espacial como pueden ser ArcIMS y ECWP.
<b>Opciones de Visualización:</b>	Zooming: Zoom in/Zoom out/Previo/Full extent/to selection/to Layer, Locator	Zooming: Zoom in/Zoom out/Fast/Full extent/to selection/to Layer/Undo/Redo/Center	Zooming: Zoom in/Zoom out/Previo/Full extent/to selection/to Layer, Locator
<b>Geoprocesamiento</b>	Buffer	Buffer, Clip, Dissolve, Merge, Spatial Joint,	Buffer, Clip, Dissolve, Merge, Union, Spatial Joint, Convex Hull,

		Intersection	Diference, Intersection
<b>Simbología:</b>	Unic symbol, Unic value, Graduated colour, Labeling	Unic symbol, Unic value, Graduated colour, Labeling	Unic symbol, Unic value, Graduated colour, Labeling
<b>Table edition</b>	Adding fields, Deleting fields, Modifying files order, Modifying databases	Adding fields, Deleting fields, Modifying files order, Modifying databases	Adding fields, Deleting fields, Modifying files order, Modifying databases
<b>Simple query</b>	Lengths, Areas, Attribute information, Metadata	Lengths, Areas, Attribute information, Metadata	Lengths, Areas, Attribute information, Metadata
<b>Edición de topología</b>	Si	Si.	Si
<b>Formatos de archivos de entrada soportados</b>	Raster: Ecw, jpeg, jpg, tiff, geoTIFF, gif, img, bmp, asc, ddf, dto, dem, air grass y Vectorial: dgn, shp, gml/xml, mif.	Raster: jpg, jpeg, png, tiff, gif, img, bmp, ecw, MrSid, geoTIFF y Vectorial: dgn, shp, gml/xml, mif.	Raster: jpg, jpeg, png, tiff, geoTIFF, gif, img, bmp, ecw, MrSid y Vectorial: dgn, dwg, dxf, shp, tab, vpf.
<b>Georreferenciación de imágenes</b>		Si	Si

<b>Operadores topológicos y alfanuméricos</b>		Entre dos capas: Contains, Crosses, Disjoint, Equals, Intersects, Overlaps, Touches, Within. Dentro de una misma capa: no_overlaps_of_areas, only_connected_at_endpoints, only_single_part_feature	Igual que, mayor que, distinto a, etc.
---	--	--	--

		<p>atures, etc.</p> <p>Alfanuméricos: mayor que, menor o igual que, distinto, igual, etc.</p>	
<b>Presentación de los resultados</b>	<p>Unique symbol thematic mapping, Unic value thematic mapping, Graduated colour thematic mapping, Variable feature size thematic mapping, Fixed size labelling.</p>	<p>Unique symbol thematic mapping, Unic value thematic mapping, Graduated colour thematic mapping, Fixed size labelling, Real size labelling.</p>	<p>Unique symbol thematic mapping, Unic value thematic mapping, Graduated colour thematic mapping, Fixed size labelling, Real size labelling.</p>
<b>Dirección oficial</b>	<p><a href="http://www.qgis.org/">http://www.qgis.org/</a></p>	<p><a href="http://www.saig.es/en/kosmo.php">http://www.saig.es/en/kosmo.php</a></p>	<p><a href="http://www.gvsig.gva.es/">http://www.gvsig.gva.es/</a></p>

## 2. Evaluación de herramientas PostGres y PostGis

### 2.1.1. Postgres

Es una de las bases de datos relacionales de uso libre más adelantadas. Cuenta con diversas funcionalidades como:

- Ejecución de store procedures
- Ejecución de triggers
- Diversos tipos de datos nativos
  - Float
  - Text
  - Direcciones ip
  - Figuras geométricas
  - Arrays
  - Otros tipos
  - Posibilidad de crear tipos propios
- Alta concurrencia mediante MVCC que permite que varios usuarios trabajen sobre el mismo registro de una tabla en forma consistente
- Disponibilidad de foreing keys
- Vistas

- Integridad transaccional

### 2.1.2. PostGIS

Es una extensión de Postgres bajo licencia GNU, que hace disponibles objetos GIS dentro de la base de datos. Ha sido certificada por Open Geospatial Consortium (OGC) lo que garantiza la interoperabilidad con otros sistemas con esa característica.

Con PostGIS podemos usar todos los objetos que aparecen en la especificación OpenGIS como puntos, líneas, polígonos, multilíneas, multipuntos, y colecciones geométricas.

OpenGIS define dos formas de representar los objetos espaciales:

- WKT – Well-know text
- WKB – Well-know binary

Las dos formas guardan información del tipo de objeto y sus coordenadas.

Además la especificación OpenGIS requiere que los objetos incluyan el identificador del sistema de referencia espacial(SRID).

Básicamente, se pueden crear, modificar y consultar objetos de tipo geométrico en similar forma que los de tipo estándar dentro de Postgres. La forma de manipularlos es mediante SQL.

Cuenta con varias operaciones y funciones definidas dentro de las que se encuentran las siguiente:

- **AddGeometryColumn(varchar, varchar, varchar, integer, varchar, integer)**. Añade una columna geométrica a una tabla existente.
- **Envelope (geometry)**. Retorna un *POLYGON* que representa la caja circunscrita de la geometría.
- **GeometryType (geometry)**. Retorna el tipo de geometría como una cadena. Ejemplo: '*LINestring*', '*POLYGON*', '*MULTIPOINT*', etc.
- **X (geometry)**. Encuentra y devuelve la coordenada X del primer punto de *geometry*.
- **Y (geometry)**. Encuentra y devuelve la coordenada Y del primer punto de *geometry*. **PointN (geometry, integer)**. Devuelve el punto enésimo en el primer *linestring* de *geometry*.
- **Distance (geometry, geometry)**. Devuelve la distancia cartesiana entre dos geometrías en unidades proyectadas.

## 3. Evaluación de herramienta Sextante

Es un proyecto desarrollado para la Junta de Extremadura por la Universidad de Extremadura. El objetivo de SEXTANTE es desarrollar un Sistema de Información Geográfica, especialmente adaptado para la gestión forestal y los trabajos relacionados con la práctica forestal y la gestión ambiental en términos generales.

Esta extensión brinda diversas clases que cuentan con las funcionalidades agregadas de manera que se pueda desarrollar haciendo uso de las mismas simplificando la tarea de programación de las aplicaciones.

SEXTANTE se trabaja a través de un gestor de extensiones, donde se muestran las que contiene y las desarrolladas por el usuario también.

Se desarrolla a través del uso de Eclipse y está hecho en JAVA.

---

## ANEXO 6

### 1. Requerimientos específicos

#### 1.1. Requerimientos Funcionales

##### 1.1.1. Funciones básicas de visualización

Se permitirá cargar un una capa de información vectorial o raster en la vista, activar o desactivar la capa, navegar por la vista (pan), posicionamiento en la vista según un par de coordenadas ampliar o reducir el área visible (zoom) o delimitar el área de estudio.

Se podrá buscar un objeto vectorial por su descripción.

Se permitirá guardar la información de un proyecto.

Se permitirá guardar una vista en formato jpg o imprimirla.

Se permitirá la visualización de información de un polígono (utilización – camping, reserva forestal, cultivos, etc., tipo de vegetación – edad, pendiente, orientación, etc).

##### 1.1.2. Acceso a la información meteorológica

El sistema accederá de forma remota a la última información meteorológica disponible en el servidor de meteorología y cargará la información en el sistema.

##### 1.1.3. Consulta y modificación de coeficientes de ponderación

El sistema debe permitir consultar y modificar los valores de los coeficientes de ponderación de los elementos estáticos o dinámicos considerados.

##### 1.1.4. Selección de rangos de índices de riesgo de incendio

El sistema permitirá el ingreso y modificación de los 5 rangos de valores de índices de peligro de incendio que se consideraran y para cada uno de ellos se asociará un color seleccionado de una paleta de colores.

##### 1.1.5. Asignación del índice de riesgo de incendio

- La componente estática proveniente del departamento de Geografía incluye tipo de vegetación, pendientes, orientación de la ladera y horas de sol, usos de suelo, etc. En este trabajo se vinculan las variables en matrices.

- La componente dinámica es la que se genera a partir de variables meteorológicas proveniente del sistema existente en facultad de Ciencias.

Generar para cada una de las cuadrículas de la zona de estudio y a partir del producto de los valores de las variables meteorológicas por su correspondiente valor de ponderación, un índice de riesgo meteorológico.

Determinar dentro de la zona de estudio, en función de las capas de información geográfica y de los respectivos valores de ponderación, cual es el índice de riesgo para cada una de los polígonos.

Combinar los valores de índice de peligro meteorológico y geográfico y obtener para cada uno de los polígonos, el valor final de riesgo.

A partir de los valores de índices de peligro para cada uno de los polígonos de la zona de estudio, y según el rango de valores al que pertenezca, se le asigna el color correspondiente al rango al que pertenece su valor y se hace visible la capa de información a la que pertenecen estos polígonos.

#### **1.1.6. Consulta y actualización de información estática al sistema**

Se evaluará si se permitirá consultar y actualizar la información estática.

#### **1.1.7. Predicción de la propagación del incendio**

Una vez iniciado el incendio se predice el desplazamiento futuro de este considerando dos factores:

- El índice de peligro de cada una de las zonas contiguas al incendio.
- La dirección del viento.

Estos factores se conjugan mediante las variables de ponderación correspondientes para obtener una dirección y una cantidad de desplazamiento.

Generar una simulación del desplazamiento del incendio.

Se evaluará si la información se mostrará dinámicamente o discretizando la información.

Nota: Elementos a tener en cuenta sobre la evolución futura del incendio es la existencia de cortafuegos naturales o artificiales como son las rutas, los ríos, las lagunas, etc.

#### **1.1.8. Inclusión de imágenes MODIS**

Se evaluará la incorporación de imágenes MODIS georreferenciadas para el seguimiento del incendio a través de la visualización de la columna de humo.

#### **1.1.9. Publicación de resultados en un WebServer**

Se evaluará la generación de un archivo resultado de la predicción de riesgo de incendio para su publicación en un WebServer.

Se evaluará la generación de un archivo resultado de la simulación para su publicación en un WebServer.

### **Requerimientos No Funcionales**

#### **1.1.10. Software Libre**

La herramienta debe ser desarrollada basada en software de uso libre.

#### **1.1.11. Software Portable**

Debe tenerse en cuenta la falta de definición en cuanto al sistema operativo a utilizar de manera que debe considerarse la posibilidad de producir una herramienta portable o al menos compilable tanto para Windows XP, 2000 o superior como para Linux Debian o SuSE. La herramienta será para uso de escritorio.

#### **1.1.12. Software Extensible**

El sistema se desarrolla en el marco de herramientas de uso libre y en pleno crecimiento. Se vislumbran desde el comienzo del proyecto posibilidades de desarrollo futuro del mismo fuera del alcance de este proyecto. Esto hace indispensable la condición de ser fácilmente extensible.

#### **1.1.13. Hardware**

Dado que se manejará información geográfica con base en imágenes se deberá contar con equipos de porte mediano. Se sugiere computadoras con procesadores "dual core" o superior y 1 Gb más de memoria RAM.

Como también utilizará bases de datos, deberá contar con la conexión a un servidor que brinde ese servicio o la misma computadora deberá tener dicho software instalado.

#### **1.1.14. Conexión**

La máquina en la que corra el sistema debe tener conexión a Internet para lograr la comunicación con el servicio de meteorología.

#### **1.1.15. Cliente**

---

Se prevé la instalación inicial de la herramienta en Geografía (Facultad de Ciencias) para comenzar la etapa de ajuste de esta en lo que se refiere a factores de ponderación.

Se identifica a nuestro cliente representado como Virginia Fernández. Contaremos con la colaboración de los meteorólogos Bernardo de los Santos y Mario Bidegain.

## **2. Requerimientos de documentación**

### **2.1. 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 como ser acceso a la información de meteorología, procesamiento de la información para generación del mapa de riesgo de incendio o simulación del desplazamiento de un incendio, modificación de ponderaciones de las variables involucradas, etc.

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.

### **2.2. Guías de instalación, configuración y archivo Léame.**

Se elaborará una guía de instalación y configuración para ambos componentes del sistema. Se elaborará un archivo Léame para ambos componentes del sistema.

## **3. Glosario**

MODIS: Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer.