

IMPLEMENTACIÓN DE REGLAS PARA LA AYUDA EN LA TOMA DE DECISIONES EN CASO DE INCENDIOS FORESTALES.

**MASTER OFICIAL EN SISTEMAS INTELIGENTES
Y
APLICACIONES NUMÉRICAS EN INGENIERÍA**

Alumno: Luís Juan Santacreu Ríos

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	3
2. OBJETIVOS DEL PROYECTO, ESTADO ACTUAL Y ANTECEDENTES	4
2.1. Objetivos del Proyecto	4
2.2. Estado Actual	5
2.3. Antecedentes	5
2.3.1. Sistemas Expertos	5
3. FUNDAMENTOS TEÓRICOS Y DESARROLLO	7
3.1. Sistema experto para la ayuda en la toma de decisiones basado en el motor de inferencia de PLATEA 4D	7
3.1.1. Estructura	7
3.1.2. Base de conocimiento (reglas)	8
3.1.2.1. Diagramas de flujo de las secciones del sistema.	9
3.1.3. Creación del Sistema Básico	21
3.2. Sistema experto para la ayuda en la toma de decisiones basado en el motor de inferencia de lógica difusa	22
3.2.1. Introducción	22
3.2.2. Estructura	22
3.2.3. Variables de entrada de los diferentes subsistemas	25
3.2.4. Simulación de los diferentes subsistemas con Matlab	30
3.2.4.1. Subsistema Meteo1	30
3.2.4.2. Subsistema Meteo2	32
3.2.4.3. Subsistema Alerta	33
3.2.4.4. Subsistema Activación de Recursos	35
3.2.5. Incendio en Sur Oeste de Gran Canaria en el 2007	38
3.2.5.1. Introducción	38
3.2.5.1. Simulación con datos reales	38
4. CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS	46
4.1. Conclusiones	46
4.1.1. Sistema experto para la ayuda en la toma de decisiones basado en el motor de inferencia de PLATEA4D	47
4.1.2. Sistema experto para la ayuda en la toma de decisiones basado en el motor de inferencia de lógica difusa	47
4.1.3. Conclusión final	48
4.2. Líneas futuras	49
5. BIBLIOGRAFÍA	49

IMPLEMENTACIÓN DE REGLAS PARA LA AYUDA EN LA TOMA DE DECISIONES EN CASO DE INCENDIOS FORESTALES.

1. INTRODUCCIÓN

El Plan Especial Canario de Protección Civil y Atención de Emergencias por Incendios Forestales (INFOCA), establece la organización y procedimientos de actuación de los recursos y servicios cuya titularidad corresponde a la Administración Pública de la Comunidad Autónoma de Canarias y los que puedan ser asignados al mismo por otras Administraciones Públicas o por otras Entidades públicas o privadas, con el objeto de hacer frente a tales emergencias dentro del ámbito territorial autonómico.

El INFOCA desarrollará las siguientes funciones básicas:

- Prever la estructura organizativa y los procedimientos para la intervención en emergencias por incendios forestales dentro del territorio de la Comunidad Autónoma Canaria.
- Prever la mecanización y procedimientos de coordinación con el Plan Estatal de Protección Civil de Emergencia por Incendios Forestales.
- Establecer los sistemas de articulación con las organizaciones de las Administraciones Locales (Cabildos y Ayuntamientos) en el ámbito territorial de la Comunidad Autónoma de Canarias.
- Zonificar el territorio en función del riesgo y las previsibles consecuencias de los incendios forestales, delimitar áreas según posibles requerimientos de intervención y despliegue de medios y recursos, así como localizar la infraestructura física a utilizar en operaciones de emergencia.
- Prever sistemas organizativos para la incorporación del personal voluntario.
- Especificar los procedimientos de información a la población.
- Catalogar los medios y recursos específicos a disposición de las actuaciones previstas.
- Determinar las épocas de peligro de incendios forestales dependiendo, en cada caso, de las circunstancias meteorológicas existentes.

Es objetivo principal del CECOES 1-1-2 es mejorar y adaptar las actuaciones, en las distintas situaciones de emergencias y urgencias, a la realidad cotidiana y social, y principalmente a los avances tecnológicos, que posibiliten facilitar una respuesta eficiente y eficaz en el seguimiento y coordinación de los incidentes registrados en las Salas Operativas, así como de los recursos que intervengan en dichas situaciones.

Por otro lado la división de Computación Evolutiva y Aplicaciones Numéricas en Ingeniería (CEANI) del Instituto Universitario de Sistemas Inteligentes y Aplicaciones Numéricas en Ingeniería (SIANI) ha desarrollado como parte de sus actividades de I+D+i consecutivas generaciones de programas de ordenador (software) caracterizadas cada una de ellas por mayores avances en cuanto a capacidad de almacenar y relacionar información geotemporal, análisis mediante programas específicos de dicha información (evaluadores, optimizadores, simuladores, etc.) y enlace con sistemas de Alerta Temprana, Planes de Emergencia y Protocolos de Actuación. La última generación de tal software se denomina PLATEA 4D.

Este sistema ya ha sido configurado con éxito para la implantación operativa en la Comunidad Autónoma de Canarias del Plan de Emergencias por Contaminación Marina Accidental (PECMAR) por encargo del Gobierno de Canarias vía Dirección General del Medio Natural (Consejería de Medio Ambiente del Gobierno de Canarias). Tal configuración se denomina SAMM (Sistema de Alerta y Monitorización Medioambiental)

Ante todo lo anterior se ha estimado conveniente la combinación, configuración y puesta a punto de PLATEA 4D como una herramienta de gestión, seguimiento y previsión de evolución de incidentes relacionados con incendios forestales que posibilitará mejorar y optimizar las respuesta ante las funciones a desarrollar, descritas anteriormente en el INFOCA.

2. OBJETIVOS DEL PROYECTO, ESTADO ACTUAL Y ANTECEDENTES

2.1. Objetivos del Proyecto

Objetivo 1:

Desarrollar una actividad de I+D+i encaminada a mejorar y optimizar las respuestas del CECOES 1-1-2 ante las funciones a desarrollar, descritas anteriormente en el INFOCA, con la ayuda de un sistema experto en la toma de decisiones basado en el motor de inferencia actual de PLATEA 4D. Se trata de:

- Capturar el conocimiento de los expertos en la toma de decisiones para el caso de Incendios Forestales, es decir, generar una base de conocimiento que posteriormente aplicamos mediante inferencia (aplicar lo aprendido).
- Crear un sistema de reglas básicas de razonamiento que imiten el comportamiento de los expertos.
- Insertar las reglas básicas en el Sistema de Inferencia de PLATEA 4D (entrenar).
- Enlazar mediante PLATEA 4D el Sistema de Inferencia con Alertas Tempranas y Protocolos de Actuación del INFOCA (aplicar lo aprendido).

Objetivo 2:

Desarrollar una actividad de I+D+i encaminada a mejorar y optimizar las respuestas del CECOES 1-1-2 ante las funciones a desarrollar, descritas anteriormente en el INFOCA, con la ayuda de un sistema experto en la toma de decisiones basado en un motor de inferencia implementado con Lógica Difusa. Se trata de:

- Capturar el conocimiento de los expertos en la toma de decisiones para el caso de Incendios Forestales, es decir, generar una base de conocimiento que posteriormente aplicamos mediante inferencia (aplicar lo aprendido).
- Crear un sistema de reglas básicas de razonamiento que imiten el comportamiento de los expertos.
- Insertar las reglas básicas en el Sistema de Inferencia (entrenar).
- Observar y analizar los resultados mediante simulaciones mediante Matlab

- Ajuste del sistema de reglas en base a los resultados y el conocimiento de los expertos.

Objetivo 3:

Comparar cualitativamente el comportamiento en la práctica del conjunto de reglas insertado en el Sistema de Inferencia de PLATEA 4D con el comportamiento previsible de otras metodologías de Inteligencia Artificial, concretamente con Lógica Difusa (LD). Emitir recomendaciones de actividades de I+D que permitan una implementación en PLATEA 4D de módulos para toma de decisiones, en incendios forestales, basados en LD.

2.2.Estado Actual

No se ha encontrado ningún trabajo que relacione los sistemas expertos y la implementación de reglas para la ayuda en la toma de decisiones con los Centros de Coordinación de Emergencias y Seguridad, como es el caso que estamos tratando del CECOES 1-1-2 de la Comunidad Autónoma Canaria.

Lo novedoso del enfoque de este trabajo es que se pretende mediante metodologías de Inteligencia Artificial, mejorar y optimizar las respuestas ante las funciones a desarrollar, descritas anteriormente en el INFOCA, del Centro Coordinador de Emergencias y Seguridad del Gobierno de Canarias, CECOES 1-1-2.

2.3.Antecedentes

2.3.1.Sistemas Expertos

Los sistemas expertos son una de las ramas de la Inteligencia Artificial más usadas. Un sistema experto refunde en un programa informático el conocimiento de expertos en una materia. Sus dos elementos primordiales son:

- La base de conocimientos.
- Un programa de inferencia.

Con el conocimiento y experiencias de un experto se crea una base de conocimiento, posteriormente se diseña un programa de inferencia que manipula la información almacenada en la base de conocimiento, mediante procesos de búsqueda. Los sistemas expertos o inteligentes recogen una serie de características fundamentales para cumplir con el objetivo de ofrecer asesoramiento inteligente o tomar una decisión inteligente sobre una función de un proceso determinado:

- Pueden resolver problemas muy difíciles y funcionar con datos que contienen errores, usando reglas inciertas de enjuiciamiento.
- Pueden contemplar múltiples hipótesis en competición simultáneamente.
- Pueden explicar su proceso de razonamiento y justificar sus conclusiones.

Estos sistemas están diseñados para servir de soporte a los complejos análisis que se requieren con el fin de tomar decisiones eficientes y oportunas. Los Sistemas de

Expertos son sistemas basados en reglas por lo que pueden superar la capacidad de síntesis humana, por ejemplo, **cuando se requiere analizar un gran volumen de datos en un corto espacio de tiempo (Servicios de Emergencias)**. El experto humano se verá obligado a despreciar parte de la información desechando la que no considere relevante; sin embargo, el sistema experto, dada su mayor velocidad de proceso, puede analizar toda la información, sin que aparezca fatiga u otros efectos propios del ser humano que empeoran los resultados. Estos sistemas, convenientemente contruidos, pueden también superar al experto humano cuando la decisión exige aplicar conocimientos de varios campos.

Hay varias razones para utilizar sistemas expertos. Las más importantes son:

- Con la ayuda de un sistema experto, personal con poca experiencia puede resolver problemas que requieren un conocimiento de experto. Esto es también importante en casos en los que hay pocos expertos humanos. Además, el número de personas con acceso al conocimiento aumenta con el uso de sistemas expertos.
- El conocimiento de varios expertos humanos puede combinarse, lo que da lugar a sistemas expertos más fiables, ya que se obtiene un sistema experto que combina la sabiduría colectiva de varios expertos humanos en lugar de la de uno solo.
- Los sistemas expertos pueden responder a preguntas y resolver problemas mucho más rápidamente que un experto humano. Por ello, los sistemas son muy valiosos en casos en los que el tiempo de respuesta es crítico.
- En algunos casos, la complejidad del problema impide al experto humano resolverlo. En otros casos la solución de los expertos humanos no es fiable. Debido a la capacidad de los ordenadores de procesar un elevadísimo número de operaciones complejas de forma rápida y aproximada, los sistemas expertos suministran respuestas rápidas y fiables en situaciones en las que los expertos humanos no pueden.
- Los sistemas expertos pueden ser utilizados para realizar operaciones monótonas, aburridas e incómodas para los humanos. En verdad, los sistemas expertos pueden ser la única solución viable en una situación en la que la tarea a realizar desborda al ser humano (por ejemplo, un avión o una cápsula espacial dirigida por un sistema experto).
- Se pueden obtener enormes ahorros mediante el uso de sistemas expertos.

El uso de los sistemas expertos se recomienda especialmente en las situaciones siguientes:

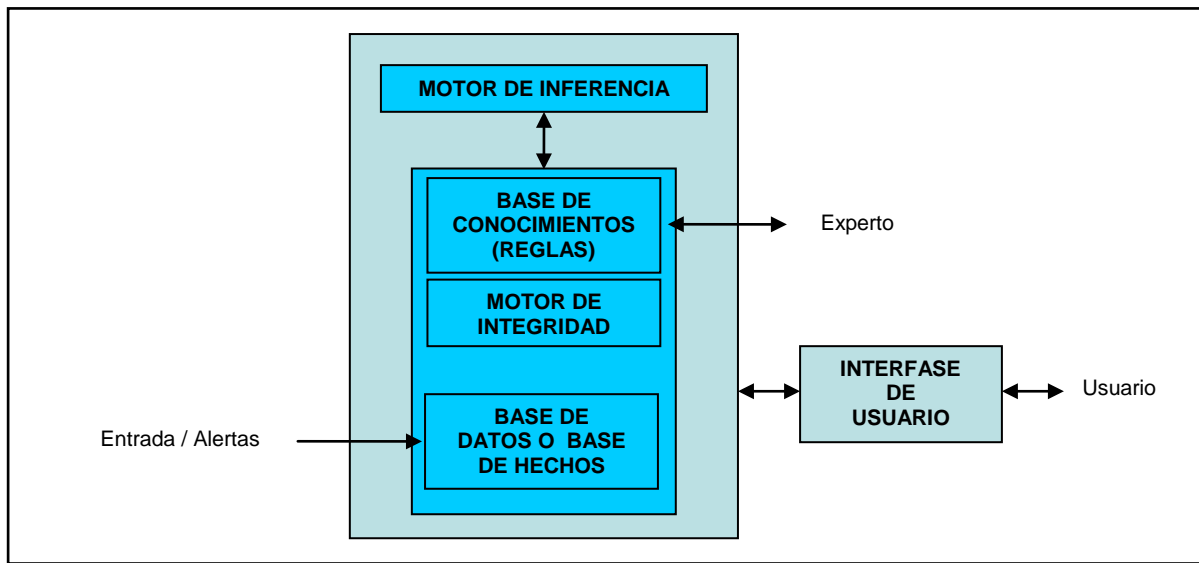
- Cuando el conocimiento es difícil de adquirir o se basa en reglas que sólo pueden ser aprendidas de la experiencia.
- Cuando la mejora continua del conocimiento es esencial y/o cuando el problema está sujeto a reglas o códigos cambiantes.
- Cuando los expertos humanos son caros o difíciles de encontrar.
- Cuando el conocimiento de los usuarios sobre el tema es limitado.

3. FUNDAMENTOS TEÓRICOS Y DESARROLLO

3.1. Sistema experto para la ayuda en la toma de decisiones basado en el motor de inferencia de PLATEA 4D

3.1.1. Estructura

A continuación se definen las funciones de cada uno de los bloques o subsistemas del sistema experto basado en el motor de inferencia de PLATEA 4D .



1. **Base de conocimientos:** contiene el conocimiento especializado extraído del experto en el dominio. Es decir, contiene conocimiento general sobre el dominio en el que se trabaja. El método usado para representar el conocimiento es mediante reglas de producción. El dominio de conocimiento representado se divide, pues, en pequeñas fracciones de conocimiento o reglas. Una característica muy importante es que la base de conocimientos es independiente del mecanismo de inferencia que se utiliza para resolver los problemas. De esta forma, cuando los conocimientos almacenados se han quedado obsoletos, o cuando se dispone de nuevos conocimientos, es relativamente fácil añadir reglas nuevas, eliminar las antiguas o corregir errores en las existentes. No es necesario reprogramar todo el Sistema Experto. Las reglas se almacenan en una secuencia jerárquica lógica, pero esto no es estrictamente necesario. Se pueden tener en cualquier secuencia y el motor de inferencia las usará en el orden adecuado que necesite para resolver un determinado problema.
2. **Base de datos o base de hechos:** es una parte de la memoria del ordenador que se utiliza para almacenar los datos recibidos inicialmente para la resolución de un problema. Contiene conocimiento sobre el caso concreto en que se trabaja. También se registrarán en ella las conclusiones intermedias y los datos generados en el proceso de inferencia. Al memorizar todos los resultados intermedios, conserva el vestigio de los razonamientos efectuados; por lo tanto, se puede utilizar explicar las deducciones y el comportamiento del sistema.

3. **Motor de inferencias:** es un programa que controla el proceso de razonamiento que seguirá el Sistema Experto. Básicamente realiza tres operaciones: reconocer cuáles son las reglas aplicables, decidir cual se va a aplicar y aplicarla. El motor de inferencia es el corazón del sistema experto. El cometido principal de esta componente es el de sacar conclusiones aplicando el conocimiento a los datos. Utilizando los datos que se le suministran, recorre la base de conocimientos para alcanzar una solución. La estrategia de control es de encadenamiento progresivo, es decir, se comienza con los hechos disponibles en la base de datos, y se buscan reglas que satisfagan esos datos, es decir, reglas que verifiquen la parte SI. El sistema sigue los siguientes pasos:

- Evalúa las condiciones de todas las reglas respecto a la base de datos, identificando el conjunto de reglas que se pueden aplicar.
- Si no se puede aplicar ninguna regla, se termina sin éxito; en caso contrario se elige cualquiera de las reglas aplicables y se ejecuta su parte acción (esto último genera nuevos hechos que se añaden a la base de datos).
- Si se llega al objetivo, se ha resuelto el problema; en caso contrario, se vuelve al paso 1

A este enfoque se le llama también guiado por datos, porque es el estado de la base de datos el que identifica las reglas que se pueden aplicar. El usuario comenzará introduciendo datos del problema en la base de datos del sistema.

4. **Motor de integridad:** previene contradicciones y repeticiones en la base de conocimientos siendo un componente muy necesario.
5. **Interfaz del Usuario:** es la parte del sistema que posibilita la comunicación entre el usuario y el motor de inferencias. Permite introducir la información que necesita el sistema y comunicar al usuario las respuestas del sistema experto.

De la estructura antes mencionada se puede observar que el sistema experto puede realizar tareas tales como:

- Adquisición de conocimiento y verificación de su integridad, por lo tanto, el sistema experto puede ayudar a los expertos humanos a dar conocimiento coherente.
- Almacenar (memorizar) conocimiento.
- Preguntar cuando se requiere nuevo conocimiento.
- Aprender de la base de conocimiento y de los datos disponibles.
- Realizar inferencia y razonamiento en situaciones de incertidumbre.
- Explicar conclusiones o acciones tomadas.
- Comunicar con los expertos y no expertos humanos y con otros sistemas expertos.

3.1.2. Base de conocimiento (reglas)

El conjunto de tareas a realizar implica configurar PLATEA 4D para que funcione correctamente en caso de Incendios Forestales. Se considera necesario dotar a la plataforma de un sistema de ayuda a la gestión de la emergencia, dotado con la capacidad servir de guía a los gestores de la emergencia durante el desarrollo y evolución de las distintas fases de la misma, según se define en el INFOCA. De esta manera se pretende aportar la información necesaria sobre:




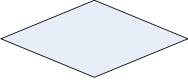

- El estado o fase en la que se encuentra la emergencia por incendio forestal.
- Recomendaciones sobre las acciones a llevar a cabo en cada una de las diferentes fases, siempre de conformidad con los planes y protocolos previamente establecidos.

Para llevar a cabo lo anterior se empleará como documento base el Plan Canario de Protección Civil y atención de Emergencias por Incendios Forestales (INFOCA). A partir del mismo se pretende como primer objetivo extraer los diagrama del flujo de las acciones a seguir por parte del CECOES 1-1-2 en caso de un incidente de esta tipología, para su posterior integración en PLATEA 4D.

Para futuras acciones se plantearán nuevos objetivos, pudiendo los mismos estar encaminados tanto a ampliar el rango del proceso operativo, como a dotar de una mayor inteligencia a los bloques definidos mediante el empleo de procesos de cálculo computacional (optimizadores (mono o multiobjetivos),...).

En definitiva, vamos a extraer la base de conocimiento. Para ello se mantuvieron reuniones con los expertos donde se interpreto el Plan Canario de Protección Civil y Atención de Emergencias por Incendios Forestales (INFOCA), aprobado por DECRETO 100/2002, de 26 de julio y se elaboraron los diagramas de decisión a seguir por parte del sistema de ayuda a la toma de decisiones.

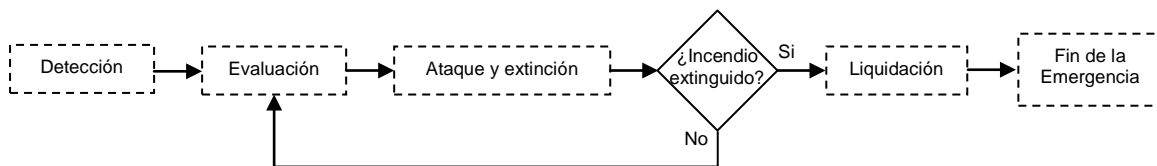
Para el desarrollo de los diagramas del flujo del proceso operativo, se emplearán las herramientas básicas que a continuación se relacionan.

Herramienta	Definición
	Fases definidas en INFOCA
	Punto de inicio del flujo del proceso operativo
	Acción a llevar a cabo en relación al flujo del proceso operativo
	Bifurcación del flujo del proceso operativo en función de una respuesta
	Variable con memoria

3.1.2.1. Diagramas de flujo de las secciones del sistema.

1. Diagrama global del sistema.

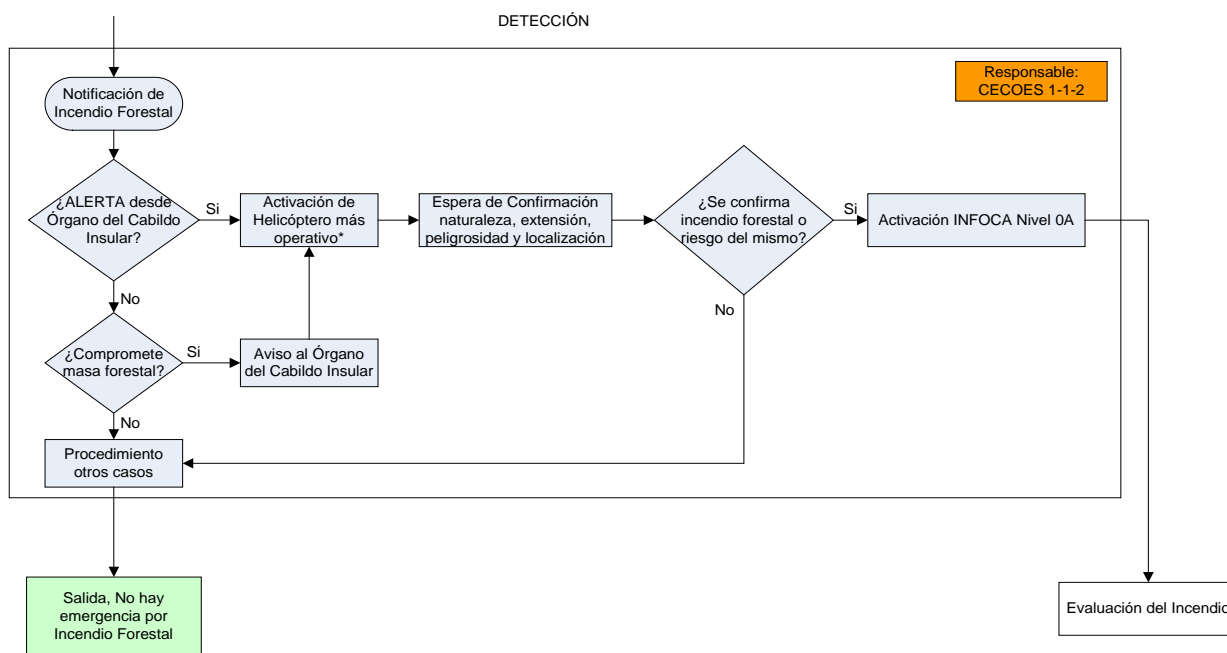
Por medio del primero de los diagramas que se presenta, se pretende mostrar el flujo global del sistema de ayuda a la toma de decisiones, a bajo nivel de detalle. Se representan en el mismo, las Fases de la Emergencia, según se disponen en el Capítulo IV del Plan.



Las fases de la emergencia se indican por medio del diagrama. Estas hacen referencia a la detección del incendio, su evaluación constante, con el propósito de ampliar las dotaciones de medios y/o cambiar el nivel de gravedad en función de las situaciones en las que deriva la emergencia bajo lo dispuesto por el Plan, las acciones de ataque y extinción, la liquidación y el Fin de la Emergencia.

2 Diagrama para la fase de detección.

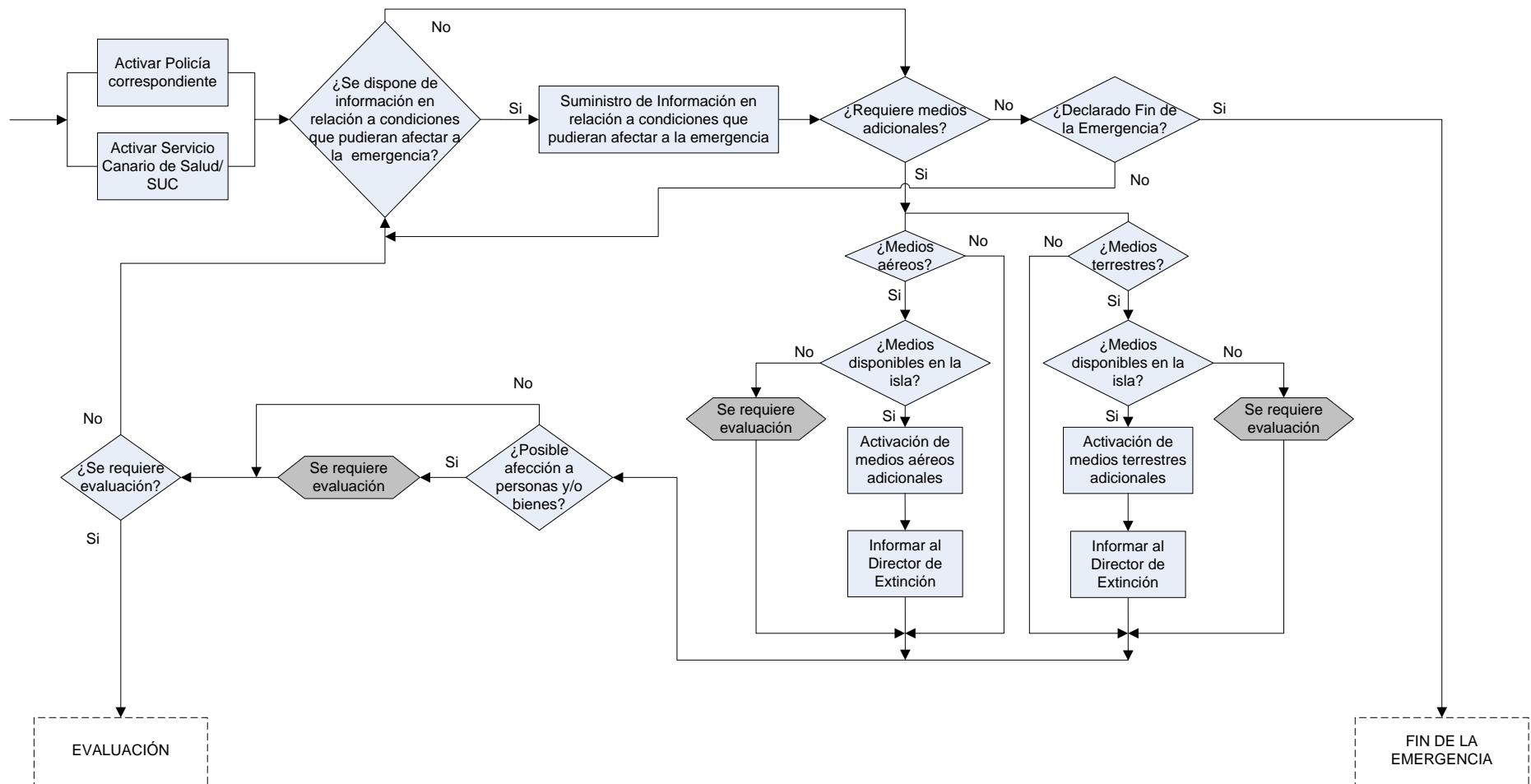
Por medio de esta fase, se detecta la existencia de un incendio forestal, a través de una llamada de aviso al Centro Coordinador de Emergencias y Seguridad (1-1-2).



* Será necesario atender los posibles cambios en el operativo

3. Diagrama para el Nivel de Gravedad OA.

Como indica el Párrafo 1 del Apartado 5.2 del Capítulo V del Plan, la situación de emergencia en nivel de gravedad OA es declarada automáticamente frente a cualquier emergencia por incendios forestales. El CECOES en este caso ha de activar al lugar que determine el Director de Extinción o en caso de no haberlo hecho, donde designe el propio CECOES 1-1-2 medios de los Sectores Seguridad y Sanitario, así como aéreos adicionales y municipales operativos



NOTA: Se ha supuesto que mientras no se soliciten medios adicionales, no existe posible afección a personas y/o bienes

En este caso, la Dirección del Plan la asume el Responsable del Órgano competente del Cabildo Insular en materia de lucha contra incendios forestales o persona en quien delegue.

Como se observa, el CECOES 1-1-2 ha de comenzar sus actuaciones activando las Policías Locales correspondientes, entendiéndose por estas, aquellas pertenecientes a los municipios afectados o previsiblemente afectados, así como al Servicio de Urgencias Canario del Servicio Canario de Salud, tal y como se indica según las disposiciones del Párrafo 3, del Apartado 5.1.2 del Capítulo V del Plan.

Entra dentro de las actuaciones del CECOES 1-1-2 el suministro de información en relación a las condiciones que pudieran afectar a la emergencia (información meteorológica,...), siendo esta la razón por la cual esta acción es recurrente, según el gráfico, durante todo el proceso operativo.

A su vez, el CECOES 1-1-2 ha de activar aquellos medios y recursos no contemplados en el operativo insular a petición de la dirección de la extinción (Párrafo 3, del Apartado 5.1.2 del Capítulo V del Plan), por lo que se evalúa de manera recurrente si medios adicionales son solicitados por la dirección de la extinción, siendo condiciones para aumentar el nivel de gravedad en el que el plan se encuentra la carencia de medios adicionales solicitados en la isla afectada o la posible afección a personas y/o bienes, razón por la cual, el nivel ha de ser evaluado en caso de darse alguno/s de estos factores.

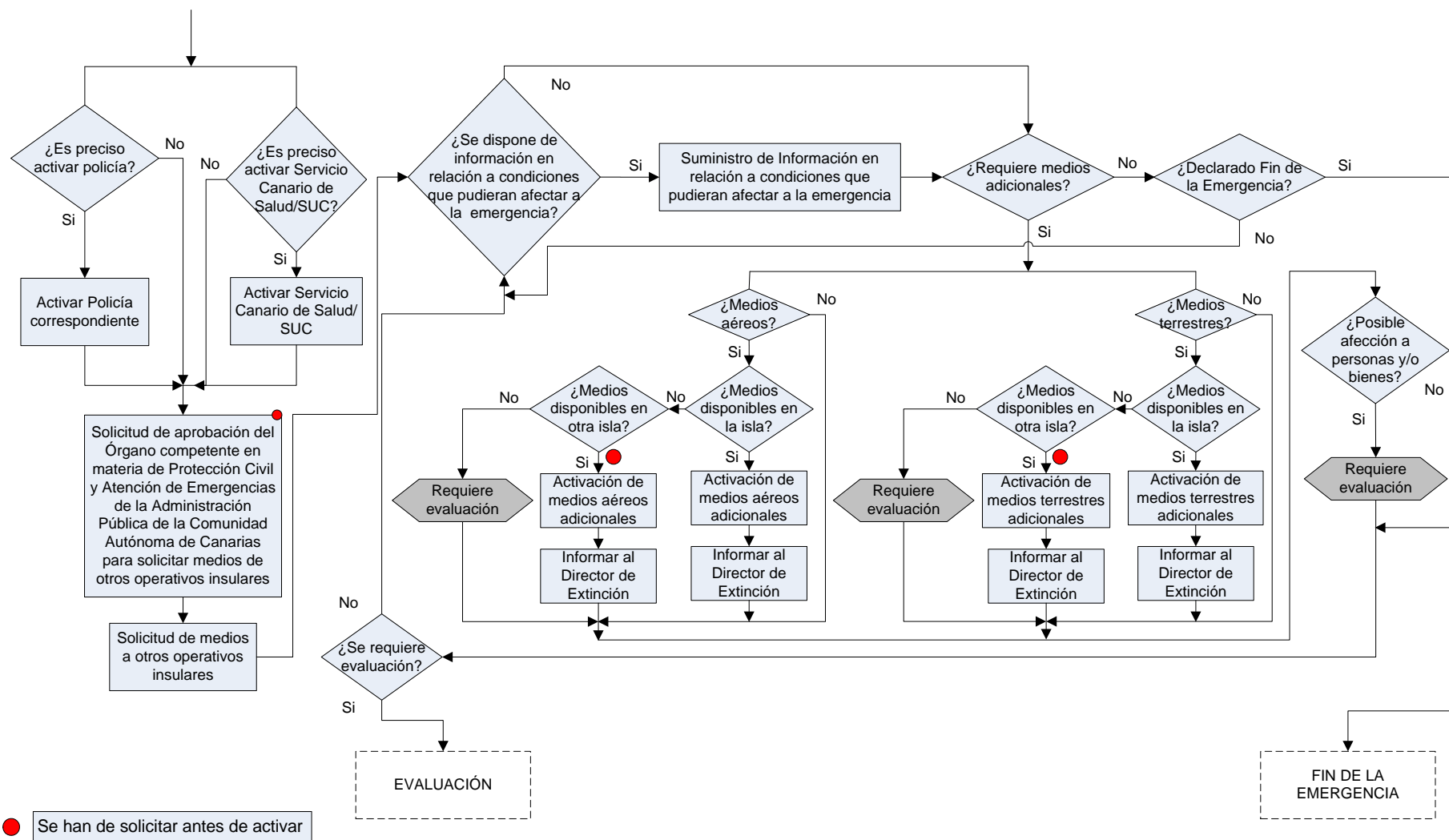
Este nivel de emergencia culmina cuando el director del plan declara el fin de la emergencia o el pase al nivel de gravedad OB, o bien en el caso de que el Responsable del Órgano competente en materia de Protección Civil y Atención de Emergencias de la Administración Pública de la Comunidad Autónoma de Canarias declara una situación de nivel de gravedad superior.

4. Diagrama para el Nivel de Gravedad OB.

Este nivel de gravedad es declarado por el Responsable del Órgano competente del Cabildo Insular en materia de lucha contra incendios. Se establece cuando se precisan medios de otros operativos insulares, no suponiendo la emergencia peligro para personas ajenas a las labores de extinción, ni para bienes distintos a los de naturaleza forestal, según lo dispuesto en el Apartado 2.3.2 del Capítulo II del Plan. La Dirección del plan en este caso la asume el Presidente del Cabildo Insular afectado, en el marco del Comité Insular de Emergencias.

Se muestra en la página siguiente el diagrama generado para este nivel de gravedad. Como en el caso anterior, el diagrama comienza con la activación de Policías Locales y Servicios Sanitarios correspondientes, en caso de no haber sido activados con anterioridad y en función de la evolución de la emergencia. A este nivel de gravedad se ha llegado debido a la falta de medios en la isla afectada, por lo que se han de solicitar medios a operativos de otras islas. Esta solicitud se ha de realizar con la aprobación del Órgano competente en materia de Protección Civil y Atención de Emergencias de la Administración Pública de la Comunidad Autónoma de Canarias según se dispone en el Párrafo 1 del Apartado 5.3.1.1 del Capítulo V del Plan.

El CECOES 1-1-2 sigue siendo responsable del suministro de información en relación a las condiciones que pudieran afectar a la emergencia, por lo que esta acción sigue siendo recurrente durante todo el proceso operativo. A su vez ha de solicitar aquellos medios y recursos precisados por la dirección de la extinción (Párrafo 3, del Apartado 5.1.2 del Capítulo V del Plan), por lo que se evalúa de manera recurrente si medios adicionales son solicitados, siendo condiciones para aumentar el nivel de gravedad en el que el plan se encuentra, la carencia de medios adicionales solicitados en la Comunidad Autónoma o la posible afección a personas y/o bienes. La situación de gravedad OB culmina cuando el Director del Plan declara el fin de la emergencia o bien se declara un nivel de gravedad mayor.



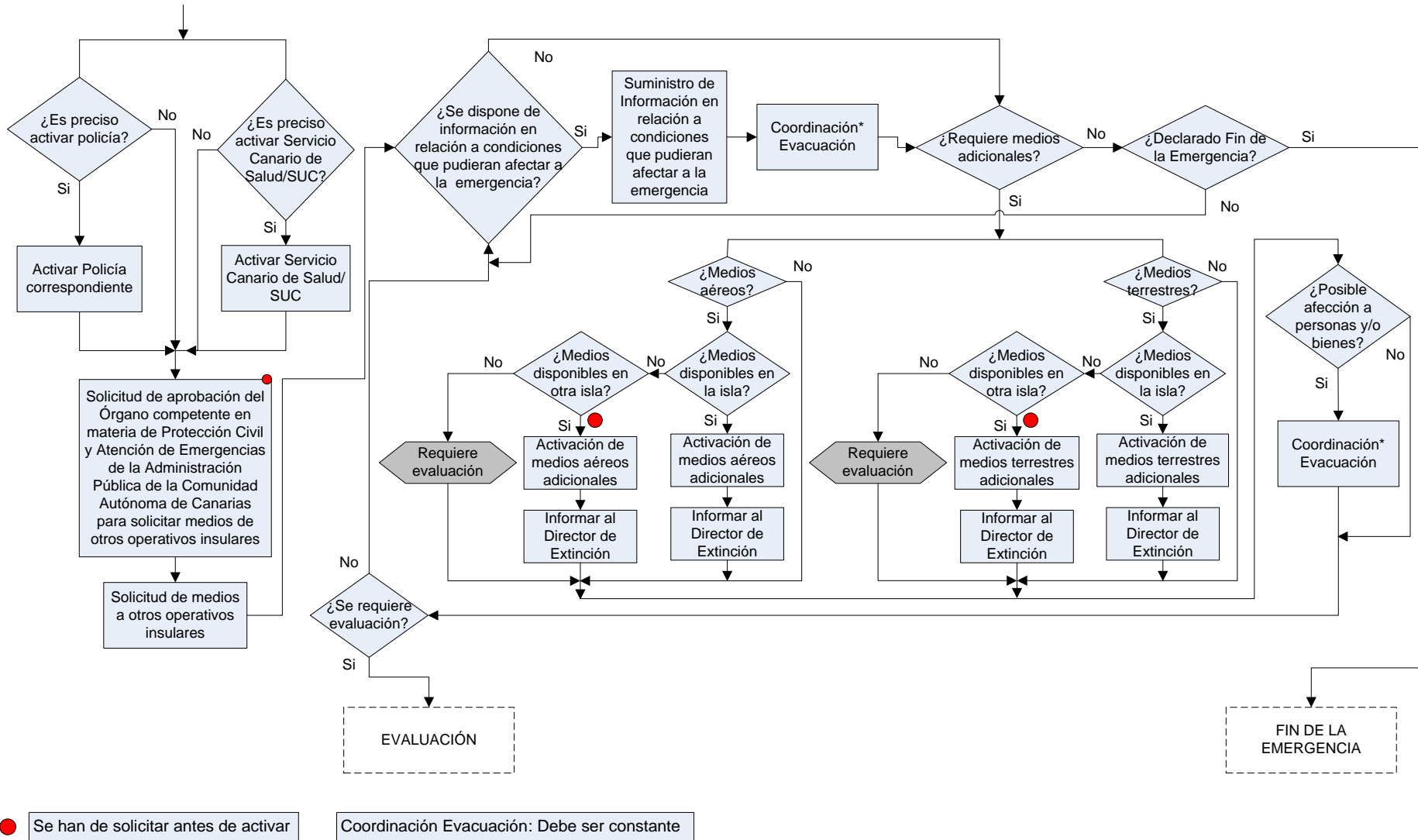
5. Diagrama para el Nivel de Gravedad 1.

Este nivel de gravedad es declarado por el Comité Insular de Emergencias a través de su Director. Se establece cuando se prevé por la posible evolución del incendio, la necesidad de la puesta en práctica de medidas para la protección de las personas y los bienes que puedan verse amenazadas por el fuego, según lo dispuesto en el Apartado 2.3.3 del Capítulo II del Plan. La Dirección del plan en este caso la asume el Presidente del Cabildo Insular afectado, en el marco del Comité Insular de Emergencias.

Se muestra en la página siguiente el diagrama generado para este nivel de gravedad. Como en el caso anterior, el diagrama comienza con la activación de Policías Locales y Servicios Sanitarios correspondientes, en caso de no haber sido activados con anterioridad y en función de la evolución de la emergencia.

A este nivel se ha llegado debido a la posible afección de personas y bienes por lo que pudieran ser evacuadas. Al CECOES 1-1-2 le corresponden las labores de coordinación de las citadas actuaciones, por lo que, al igual que en lo relativo al suministro de información en relación a las condiciones que pudieran afectar a la emergencia, y a solicitar aquellos medios y recursos precisados por la dirección de la extinción (Párrafo 3, del Apartado 5.1.2 del Capítulo V del Plan), estas acciones se evalúan de manera recurrente a lo largo del proceso. En este caso, la carencia de medios adicionales solicitados en la Comunidad Autónoma implicaría la necesidad de solicitarlos a la Administración General del Estado, por lo que un cambio de nivel de gravedad en el plan sería requerido.

Esta situación de nivel de gravedad termina cuando el Director del Plan declara el fin de la emergencia o el pase a otra situación de nivel de gravedad diferente.



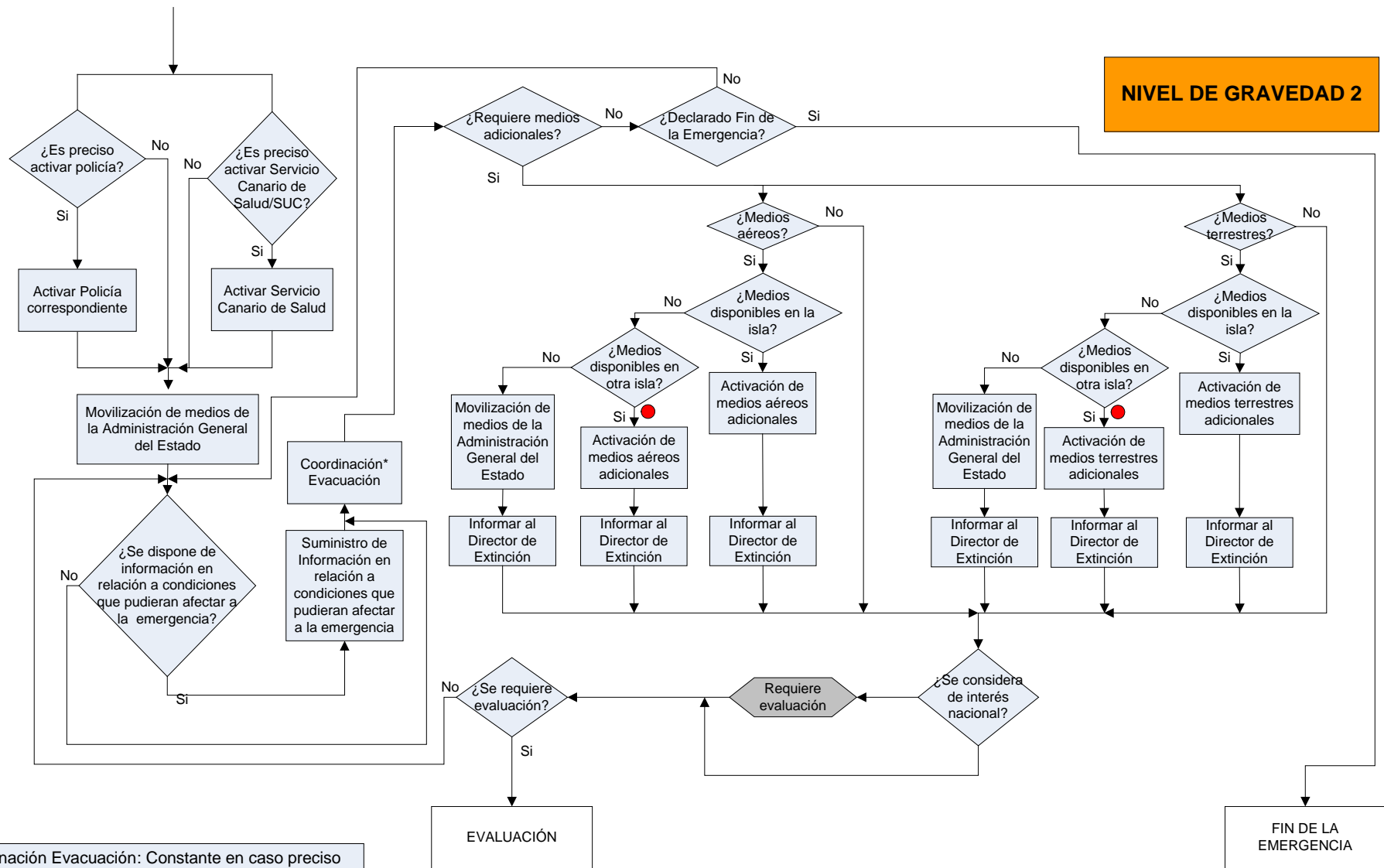
6. Diagrama para el Nivel de Gravedad 2.

Este nivel de gravedad es declarado por el Responsable del Órgano competente en materia de Protección Civil y Atención de Emergencias de la Administración Pública de la Comunidad Autónoma de Canarias, asumiendo el mismo la dirección del Plan, en el marco del Comité Insular de Emergencias. Este se declara cuando se prevea la necesidad de incorporar medios de la Administración General del Estado o cuando pueda comportar situaciones de emergencia de interés autonómico o nacional, según lo dispuesto en el Apartado 2.3.3 del Capítulo II del Plan.

Se muestra en la página siguiente el diagrama generado para este nivel de gravedad. Como en el caso anterior, el diagrama comienza con la activación de Policías Locales y Servicios Sanitarios correspondientes, en caso de no haber sido activados con anterioridad y en función de la evolución de la emergencia.

A este nivel de gravedad se ha llegado debido a la necesidad de incorporar medios de la Administración General del Estado. Estos serán movilizadas y coordinados por medio del CECOES 1-1-2, bajo las disposiciones del Plan Estatal.

Esta situación de nivel de gravedad termina cuando el Director del Plan declara el fin de la emergencia o el pase a otra situación de nivel de gravedad diferente, siendo este el caso en el que el Responsable del Órgano competente en materia de Protección Civil y Atención de Emergencias de la Administración General del Estado considere comprometido el interés nacional.



Coordinación Evacuación: Constante en caso preciso

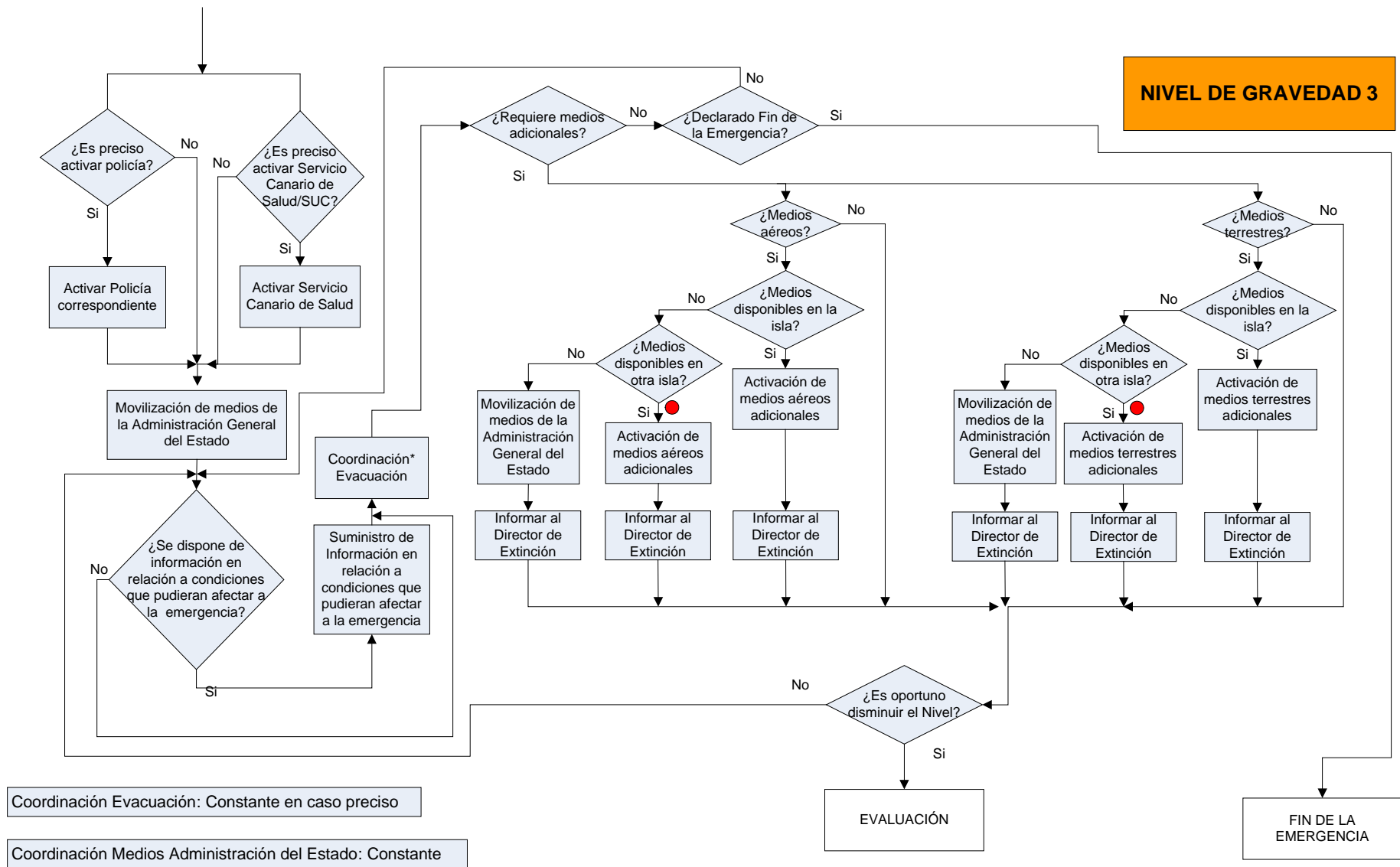
Coordinación Medios Administración del Estado: Constante

7. Diagrama para el Nivel de Gravedad 3.

Este nivel de gravedad es declarado por el Responsable del Órgano competente en materia de Protección Civil de la Administración General del Estado, asumiendo el mismo la dirección del Plan, en el marco del Comité de Dirección. Este se declara cuando se considera comprometido el interés nacional, siendo declarado por el Ministerio del Interior, a instancia de la Presidencia del Presidente de la Comunidad Autónoma o del Delegado del Gobierno.

Se muestra en la página siguiente el diagrama generado para este nivel de gravedad. Como en casos anteriores, el diagrama comienza con la activación de Policías Locales y Servicios Sanitarios correspondientes, en caso de no haber sido activados con anterioridad y en función de la evolución de la emergencia.

Esta situación de nivel de gravedad termina cuando el Director del Plan declara el fin de la emergencia o el pase a otra situación de nivel de gravedad diferente.



3.1.3. Creación del Sistema Básico

Se implementó un modelo por medio del cual se intenta validar los beneficios operativos del sistema. Se busca la posibilidad de navegar por las diferentes fases en las que puede evolucionar la emergencia, en función de los aspectos que implican cambios en los niveles de gravedad y de competencias entre las diferentes administraciones públicas implicadas. Una vez el modelo sea probado y completado será desarrollado a modo de sistema de ayuda a la toma de decisiones.

The screenshot displays the PLATEA 4D interface. At the top left is the logo 'PLATEA 4D'. On the right, it shows 'NIVEL DE GRAVEDAD: 2'. A vertical list of phases is on the left: 'FASE: Detección', 'Evaluación', 'Ataque y extinción' (highlighted in red), 'Liquidación', and 'Final de la Emergencia'. A text box on the right contains 'Observaciones: Nivel 2. Han sido solicitados medios aéreos y terrestres.' Below this, a large green box contains the instruction 'Active los medios aéreos solicitados e informe al Jefe de Extinción', with a red button labeled 'Acción ejecutada' to its right. At the bottom, there are logos for GSC, Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, SIANI, and CBANI.

Prototipo de sistema de ayuda a la toma de decisiones

3.2. Sistema experto para la ayuda en la toma de decisiones basado en el motor de inferencia de lógica difusa

3.2.1. Introducción

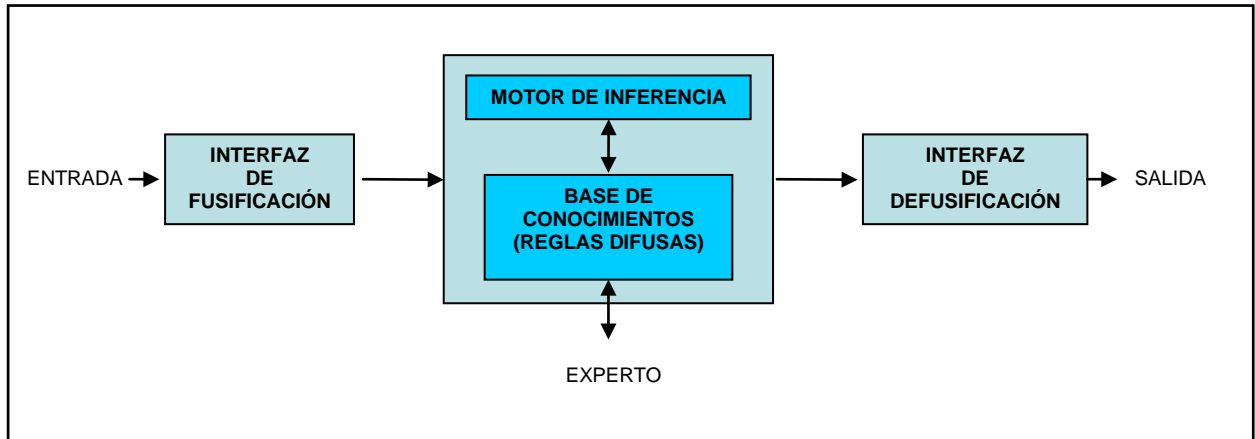
La lógica difusa se fundamenta en el concepto de que todo es cuestión de grado, lo cual permite manejar información vaga o de difícil especificación, importante para la resolución de un problema, por medio de una serie de reglas aprendidas con sistemas adaptativos que se nutren de la observación de las personas o de la formulación por parte del experto humano.

El aspecto central de las técnicas de lógica difusa es que, a diferencia de la lógica clásica, la lógica difusa tiene la capacidad de reproducir de manera aceptable y eficiente los modos usuales del razonamiento humano, al tener en cuenta que la certeza de una proposición es una cuestión de grado, por esta razón parte de la base del razonamiento aproximado y no del razonamiento preciso como lo hace la lógica clásica. De esta forma las características más importantes de la lógica difusa son: la flexibilidad, la tolerancia con la imprecisión, la capacidad para moldear problemas no-lineales y su fundamento en el lenguaje del sentido común.

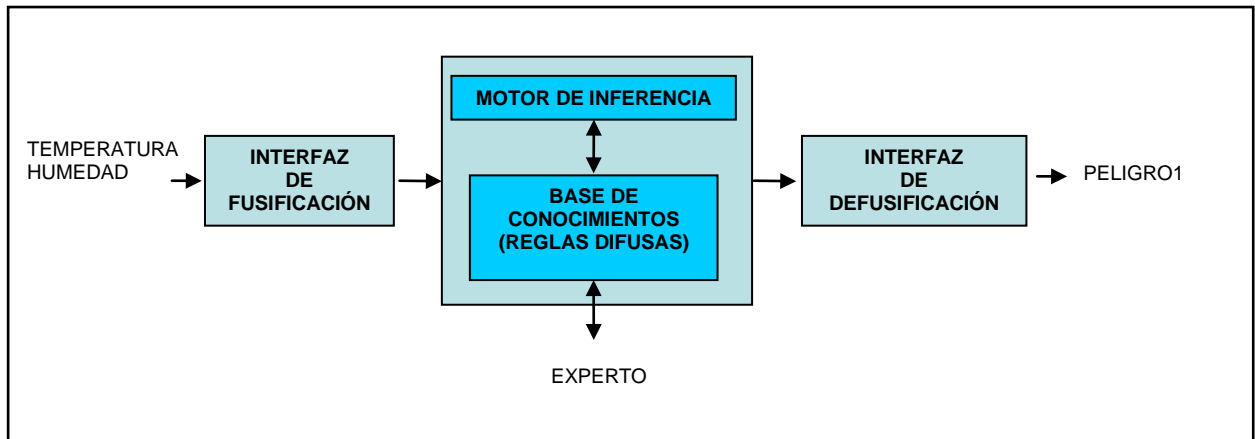
3.2.2. Estructura

A continuación se definen las funciones de cada uno de los bloques o subsistemas del sistema experto, basado en un motor de inferencia con lógica difusa. Dado el número de variables de entrada con las que vamos a trabajar, cinco en total, este sistema se desdoblará en cuatro subsistemas:

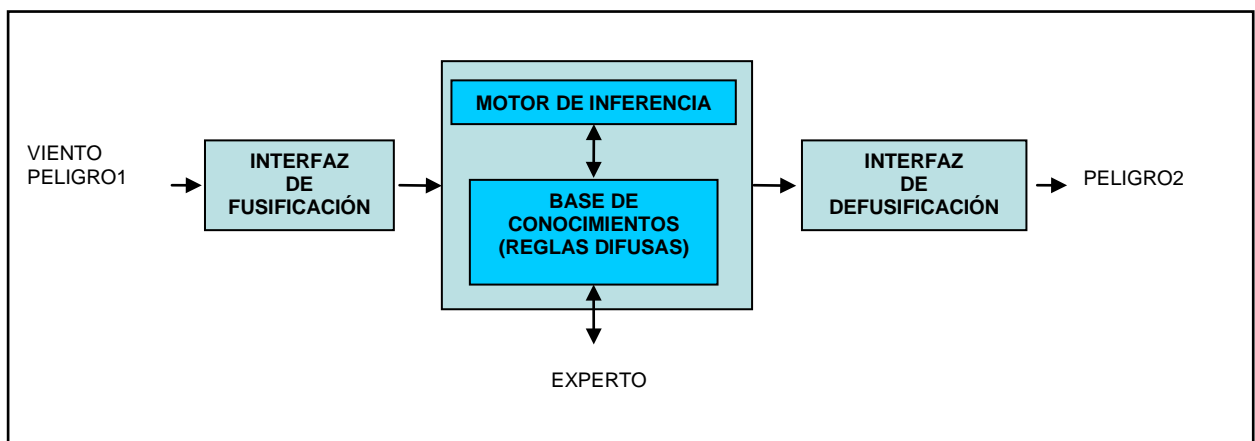
1. **Subsistema Meteo1:** trabajará a la entrada con las variables meteorológicas temperatura y humedad. La salida es peligro1
2. **Subsistema Meteo2:** trabajará a la entrada con la variable meteorológica viento y la salida del subsistema Meteo1 (peligro1). La salida es peligro2
3. **Subsistema Alerta:** trabajará a la entrada con las variables que se obtienen de las alertas al 1-1-2 para los casos de incendios forestales como son número de llamadas y municipio donde se produce el incendio. Destacar que cada municipio tiene asociado un riesgo ante incendios forestales (muy alto, alto, moderado y bajo) que viene reflejado en el INFOCA. La salida es riesgo.
4. **Subsistema Activación Recursos:** trabajará a la entrada con las variables de salida de los subsistemas Meteo2 y Alerta, proporcionando como respuesta del sistema el recurso o recursos a activar en cada caso (helicópteros, UME, etc.), es decir, se encargará de definir el riesgo existente, de los diferentes escenarios que se presenten, con el objetivo de activar una serie de protocolos de forma inmediata.



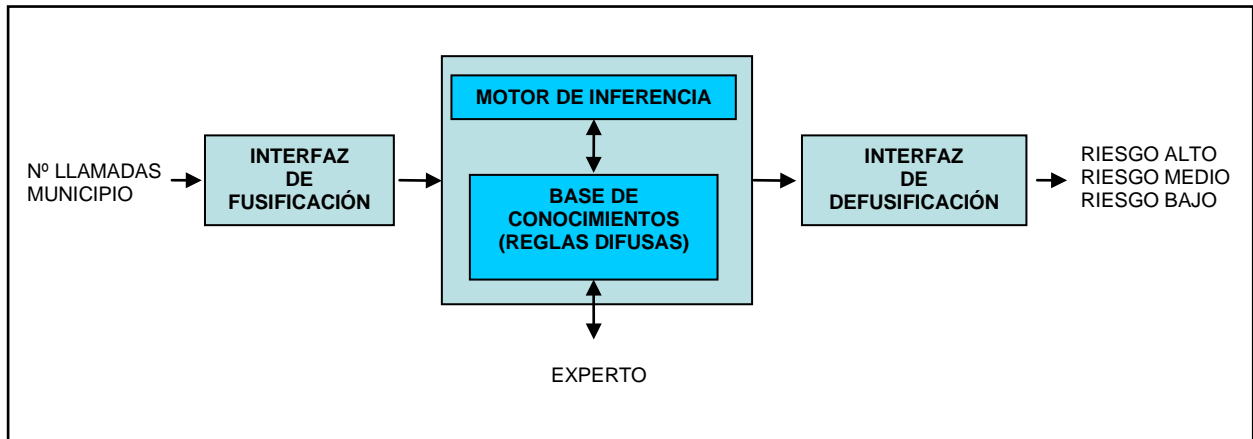
Sistema Experto Genérico



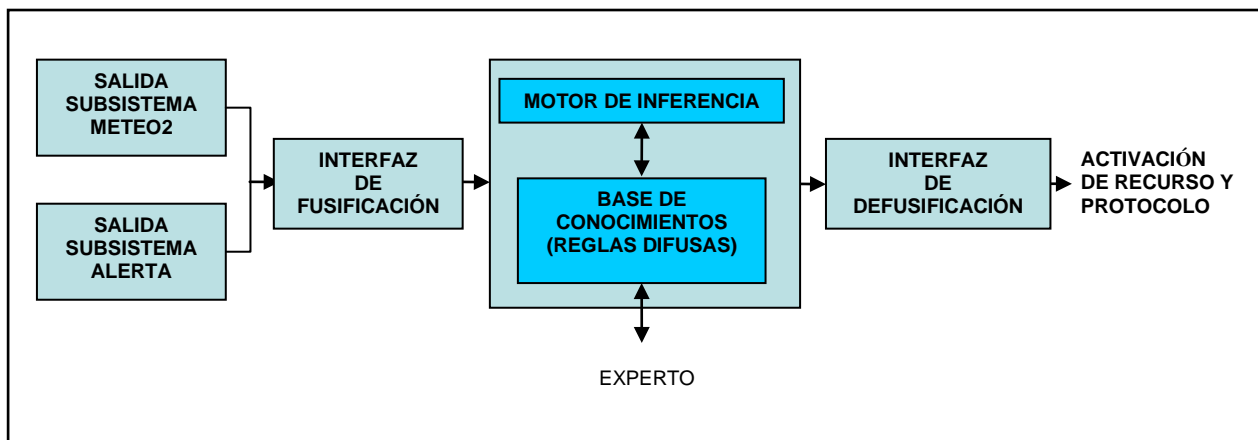
Subsistema Meteo1



Subsistema Meteo2



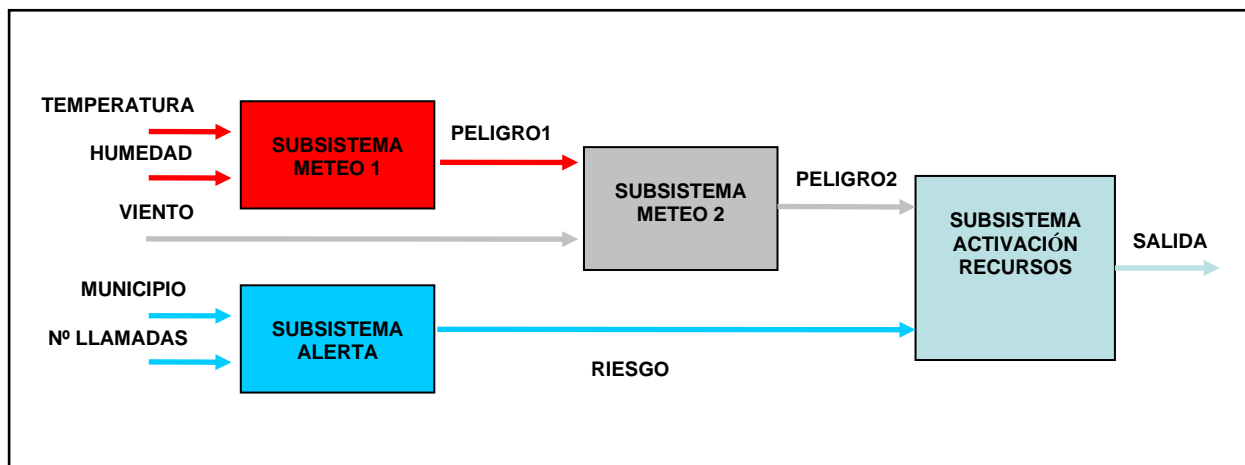
Subsistema Alerta



Subsistema Activación Recursos

1. **Interfaz de fusificación:** transforma las variables de entrada en variables difusas. Se deben de tener definidos los rangos de variación de las variables de entrada y los conjuntos difusos asociados con sus respectivas funciones de pertenencia.
2. **Base de conocimientos (reglas difusas):** contiene las reglas lingüísticas del control y la información referente a las funciones de pertenencias de los conjuntos difusos.
3. **Motor de inferencia:** realiza la tarea de calcular las variables de salida a partir de las variables de entrada, mediante las reglas del controlador y inferencia difusa, entregando conjuntos difusos a la salida.
4. **Interfaz de defusificación:** proporciona salidas discretas y deterministas a partir de los conjuntos difusos obtenidos como resultado de la inferencia.

El sistema experto final quedaría tal y como se muestra en el diagrama de bloques que aparece a continuación:



3.2.3. Variables de entrada de los diferentes subsistemas

Antes de definir los rangos de variación de las variables de entrada y los conjuntos difusos asociados con sus respectivas funciones de pertenencia, se hace necesario explicar la relación que tienen esas variables con:

- El Plan Especial Canario de Protección Civil y Atención de Emergencias por Incendios Forestales (INFOCA).
- Los avisos por Fenómenos Meteorológicos Adversos.

Dos de los riesgos más frecuentes que azotan nuestras islas son las inundaciones por lluvias torrenciales y los incendios forestales. En el presente trabajo nos hemos centrado únicamente sobre el segundo.

Para hacer frente a riesgos especiales cuya naturaleza requiera unos métodos técnicos y científicos adecuados para su evaluación y tratamiento, el PLATECA contempla la elaboración de Planes Especiales, PEFMA para el caso de Fenómenos Meteorológicos Adversos e INFOCA para incendios forestales.

METEOALERTA

Desde el 12 de Julio de 2006 está vigente en España el Plan Nacional de Predicción y Vigilancia de Meteorología Adversa, METEOALERTA, elaborado por el Instituto Nacional de Meteorología. Plan al que se le han revisado los valores umbrales de referencia en marzo del 2007. Para Canarias, los fenómenos meteorológicos contemplados por la METEOALERTA son: Viento, Lluvia, Nieve, Temperatura Extrema Mínima, Temperatura Extrema Máxima, Tormentas, Temporales Costeros y Tormentas Tropicales.

METEOALERTA divide a CANARIAS en 17 zonas de predicción meteorológica: Norte de la Palma; Cumbres de la Palma; Este de la Palma; Oeste de la Palma; Norte de la Gomera; Sur de la Gomera; Nordeste del Hierro; Suroeste del Hierro; Costa norte de

Tenerife; La Orotava y Vilaflor; Este, sur y oeste de Tenerife; Costa Norte de Gran Canaria; Medianías del norte de Gran Canaria; Cumbres de Gran Canaria; Este, sur y oeste de Gran Canaria; Lanzarote; y Fuerteventura.



METEOALERTA establece los valores umbrales de referencia y los niveles de alerta para los fenómenos meteorológicos adversos que se consideran. El riesgo meteorológico está directamente relacionado con la “rareza” del fenómeno, y cuanto mayor es ésta, menos preparada está la población para enfrentarse a sus efectos. Establece cuatro niveles de alerta básicos, que se rigen por un código de colores: Verde, Amarillo, Naranja y Rojo.

- **VERDE:** No existe riesgo meteorológico.
- **AMARILLO:** No existe riesgo meteorológico para la población en general, pero sí para alguna actividad concreta. Este nivel no genera ningún aviso pero hace una llamada para que se esté atento a la predicción meteorológica en vigor.
- **NARANJA:** Existe un riesgo meteorológico importante. (Fenómenos meteorológicos no habituales y con cierto grado de peligro para las actividades usuales)
- **ROJO:** El riesgo meteorológico es extremo. (Fenómenos meteorológicos no habituales de intensidad excepcional y con un nivel de riesgo para la población muy alto)

El INM sólo genera avisos específicos cuando se prevé alcanzar los niveles “naranja” ó “rojo”. El valor umbral de referencia para un fenómeno meteorológico indica la intensidad mínima, a partir de la cual, dicho fenómeno es capaz de producir daños a las personas o daños materiales de consideración.

Los valores umbrales para los fenómenos meteorológicos adversos que afectan a las islas Canarias y que son objeto de este trabajo son:

	Viento (racha máxima)	T extrema min	T extrema max
AMARILLO	70km/h	-1	34
NARANJA	90km/h	-4	37
ROJO	130km/h	-8	40

Las rachas de un viento encuadrado en cualquiera de los intervalos anteriores, pertenecerán al intervalo siguiente en la mayoría de los casos. Las rachas de vientos sólo se citarán explícitamente cuando superen o vayan a superar los 75Km/h.

Variable Temperatura:

La temperatura del aire es la temperatura leída en un termómetro que está expuesto al aire y protegido de la radiación solar. La predicción de temperaturas se realizará como comparación entre las previstas para un día determinado y las del día anterior. Los términos que se utilizan para caracterizarla son:

- **Aumento extraordinario** → aumento > 12°C
- **Aumento notable** → 6°C < aumento ≤ 12°C
- **Aumento moderado** → 2°C < aumento ≤ 6°C
- **Sin cambios significativos, ligero ascenso ó ligero descenso** → Variaciones de temperatura ± 2°C respecto a las del día anterior.
- **Descenso moderado** → 2°C < descenso ≤ 6°C.
- **Descenso notable** → 6°C < descenso ≤ 12°C
- **Descenso extraordinario** → descenso > 12°C

La evolución temporal sólo hace distinción entre las temperaturas diurnas y nocturnas, salvo que se espere un cambio brusco en un momento dado. En este último caso, se nombrará la variación de la temperatura y el momento del día (mañana, tarde,...) en que se espera que se produzca el cambio. Si se espera la entrada de una masa de aire frío o cálido a lo largo del período de predicción que cambie total o parcialmente la onda térmica diurna se usará el término “**progresivo**” en relación a la evolución, y se citará expresamente la variación mayor de la temperatura en el período del día en que se vaya a producir. Por ejemplo: “mañana se espera un descenso progresivo de la temperatura que llegará a ser notable por la tarde”.

Olas de calor: se considera ola de calor al calentamiento importante del aire o invasión de aire muy caliente, sobre una zona extensa. Suelen durar de unos días a unas semanas.

Temperatura extrema: la temperatura extrema es la temperatura más alta o más baja alcanzada en un tiempo dado (dentro de una ola de calor o frío, se debe considerar una temperatura extrema).

Variable Viento:

El aire se desplaza intentando compensar las diferencias de presión en la superficie terrestre. Este movimiento del aire se denomina viento. El viento es el movimiento natural del aire atmosférico. El viento es el movimiento del aire con respecto a la superficie terrestre. Normalmente, salvo que se indique lo contrario, se considera sólo la componente horizontal del vector velocidad. Como el viento es una magnitud vectorial, su predicción debe constar de dirección y velocidad.

Velocidad: la unidad más conocida por el público es el Km/h, por lo que se tenderá a utilizar esta. La predicción de velocidad se hará de sus valores medios (media en diez minutos), pero algunas veces se hará referencia a los valores instantáneos, las rachas (desviación transitoria de la velocidad del viento con respecto a su valor medio, y dura un período corto de tiempo).

Términos de intensidad del viento

- **Calma:** velocidad $\leq 5\text{Km/h}$
- **Flojos:** $6\text{Km/h} < \text{velocidad} < 20\text{Km/h}$
- **Moderados:** $21\text{Km/h} < \text{velocidad} < 40\text{Km/h}$
- **Fuertes:** $41\text{Km/h} < \text{velocidad} < 70\text{Km/h}$
- **Muy Fuertes:** $71\text{Km/h} < \text{velocidad} < 120\text{Km/h}$
- **Huracanados:** velocidad $> 120\text{Km/h}$

Las rachas de un viento encuadrado en cualquiera de los intervalos anteriores, pertenecerán al intervalo siguiente en la mayoría de los casos. Las rachas de vientos sólo se citarán explícitamente cuando superen o vayan a superar los 75Km/h.

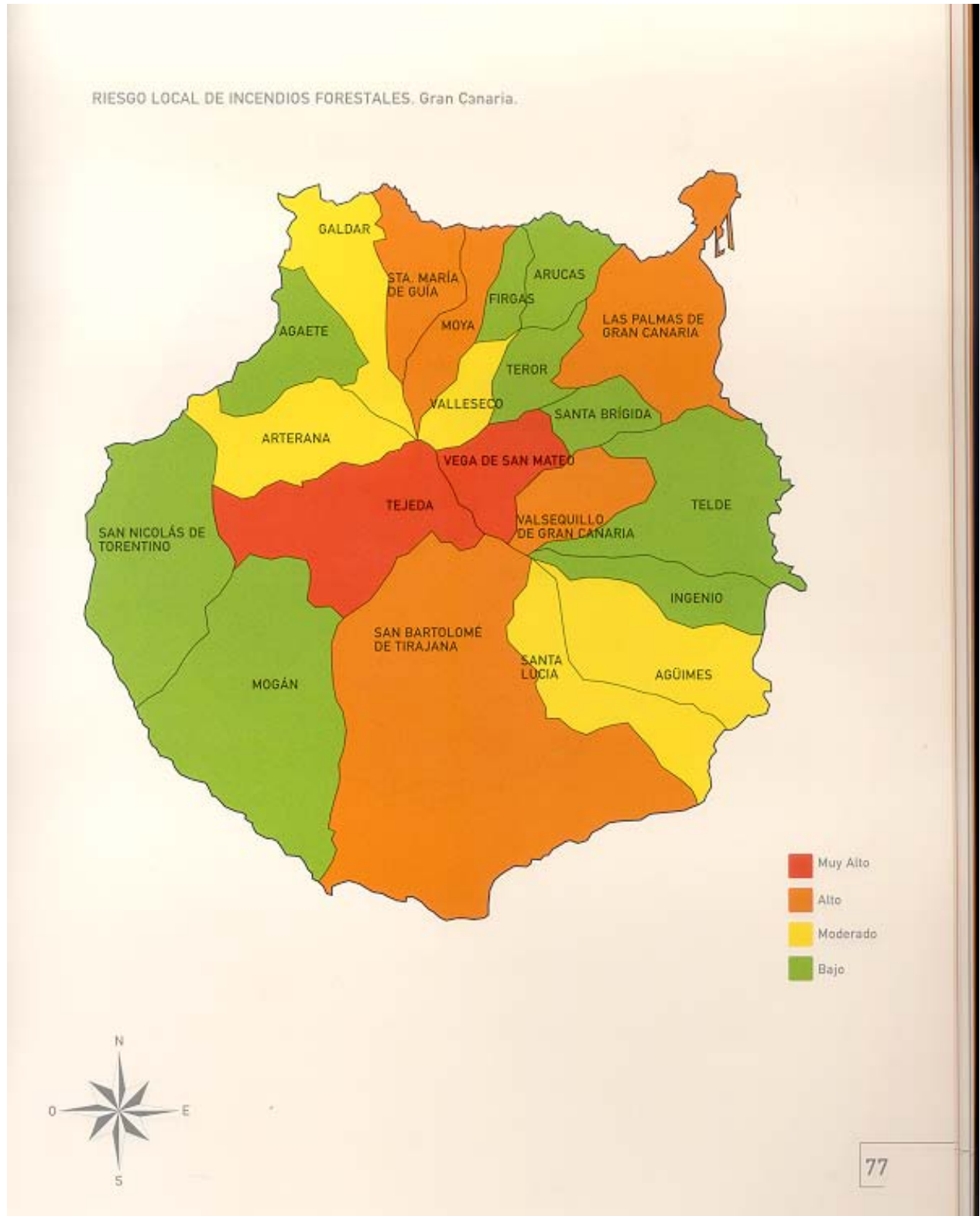
Variable Humedad:

La humedad es la cantidad de vapor de agua que hay en la atmósfera. Los niveles de vapor dependen de la temperatura y varían considerablemente de un lugar a otro del planeta. A medida que la temperatura del aire aumenta, más moléculas de agua se evaporan y algunas de ellas terminan condensándose en forma líquida. Cuando se alcanza el equilibrio entre el índice de evaporación y el de condensación, el aire alcanza su punto de saturación y no puede contener más vapor. Se llama punto de rocío a la temperatura del aire en que se da la saturación.

El margen con el que vamos a trabajar va de 0 a 100% siendo la humedad crítica la del 30%, es decir, humedades inferiores al 30% con calor determina un riesgo alto de incendio forestal.

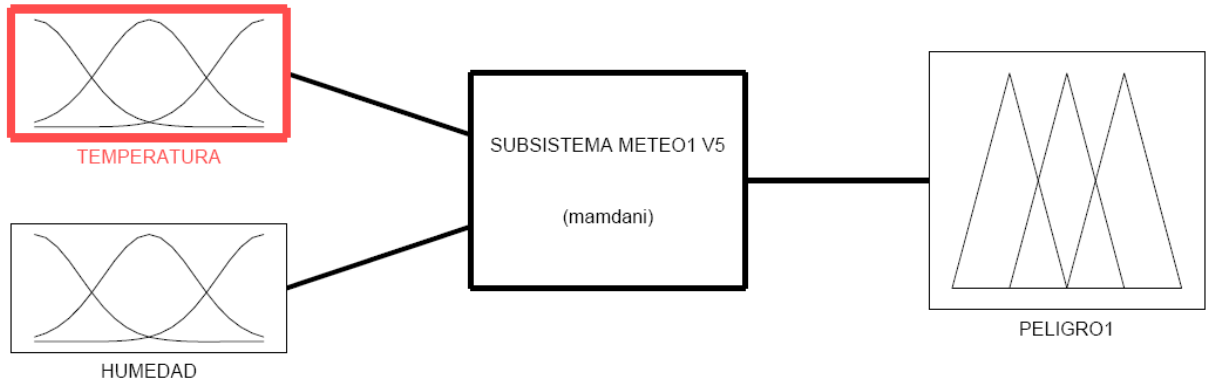
Variable Municipio / Riesgo:

Catalogación de los diferentes municipios de Gran Canaria en base al riesgo de incendio forestal, extraído del INFOCA.

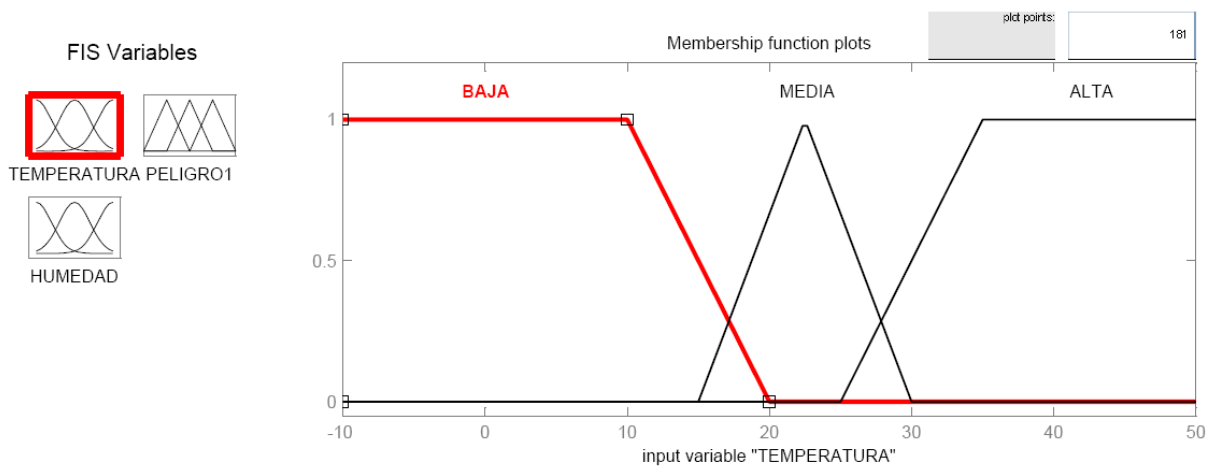


3.2.4. Simulación de los diferentes subsistemas con Matlab

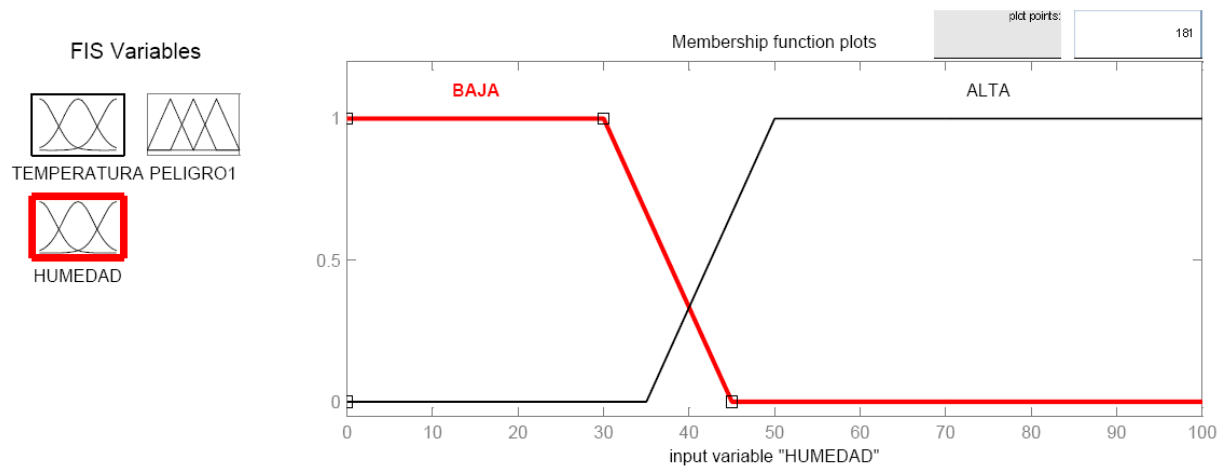
3.2.4.1. Subsistema Meteo1



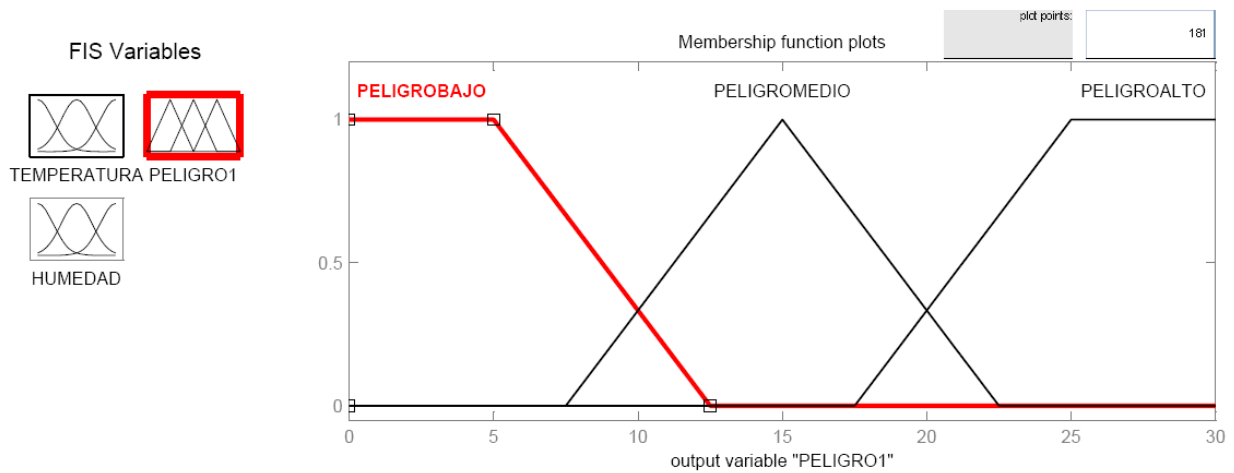
Variable de entrada temperatura:



Variable de entrada humedad:



Variable de salida peligro1:



Base de conocimiento, las reglas difusas:

1. If (TEMPERATURA is BAJA) and (HUMEDAD is BAJA) then (PELIGRO1 is PELIGROBAJO) (1)
 2. If (TEMPERATURA is BAJA) and (HUMEDAD is ALTA) then (PELIGRO1 is PELIGROBAJO) (1)
 3. If (TEMPERATURA is MEDIA) and (HUMEDAD is BAJA) then (PELIGRO1 is PELIGROMEDIO) (1)
 4. If (TEMPERATURA is MEDIA) and (HUMEDAD is ALTA) then (PELIGRO1 is PELIGROBAJO) (1)
 5. If (TEMPERATURA is ALTA) and (HUMEDAD is BAJA) then (PELIGRO1 is PELIGROALTO) (1)
 6. If (TEMPERATURA is ALTA) and (HUMEDAD is ALTA) then (PELIGRO1 is PELIGROALTO) (1)
 7. If (TEMPERATURA is BAJA) and (HUMEDAD is ALTA) then (PELIGRO1 is PELIGROBAJO) (1)

If TEMPERATURA is **BAJA** and HUMEDAD is **BAJA** Then PELIGRO1 is **PELIGROBAJO**

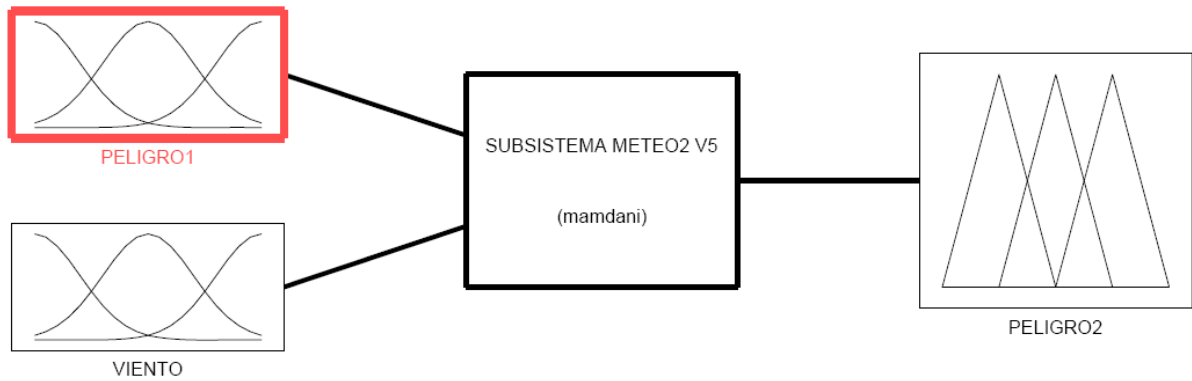
not not not

Connection: or and Weight: 1

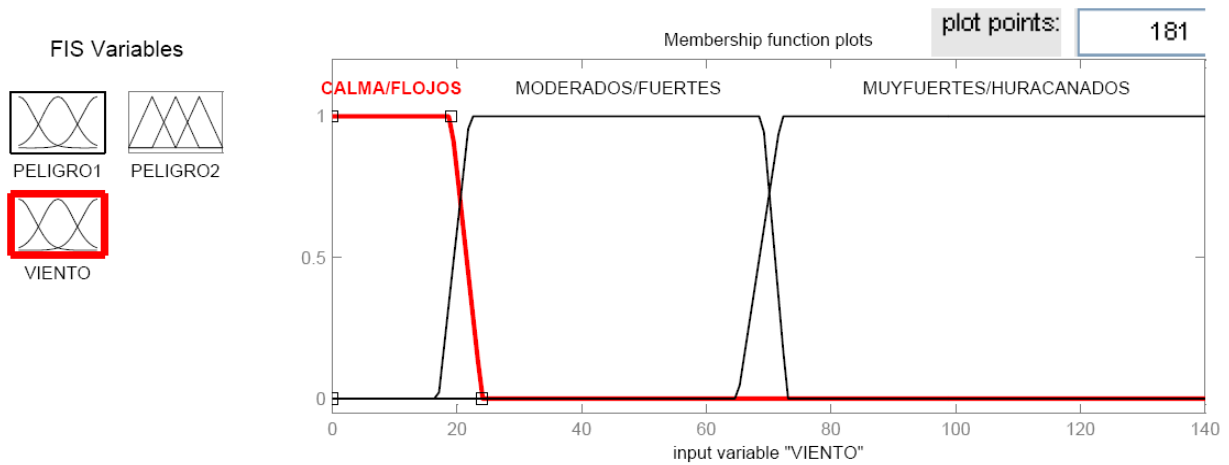
Delete rule Add rule Change rule << >>

FIS Name: SUBSISTEMA METEO1 V5 Help Close

3.2.4.2.Subsistema Meteo2

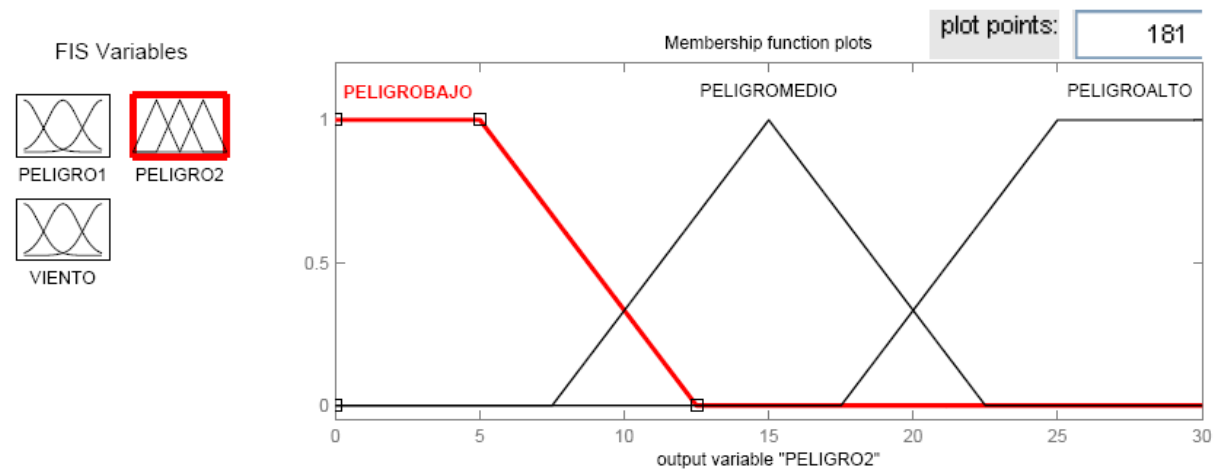


Variable de entrada viento:

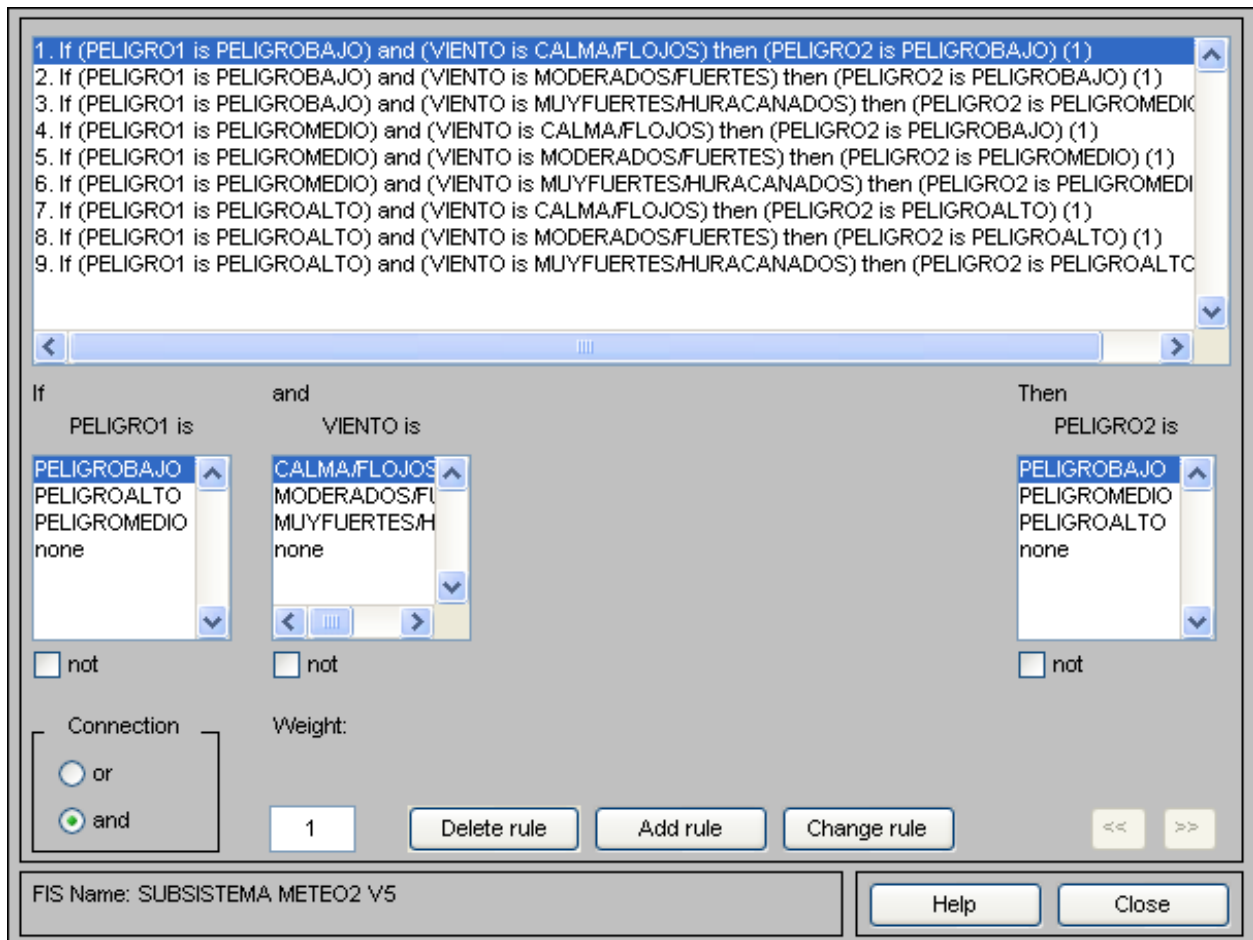


Variable de entrada peligro1: es la salida de Meteo1

Variable de salida peligro2:

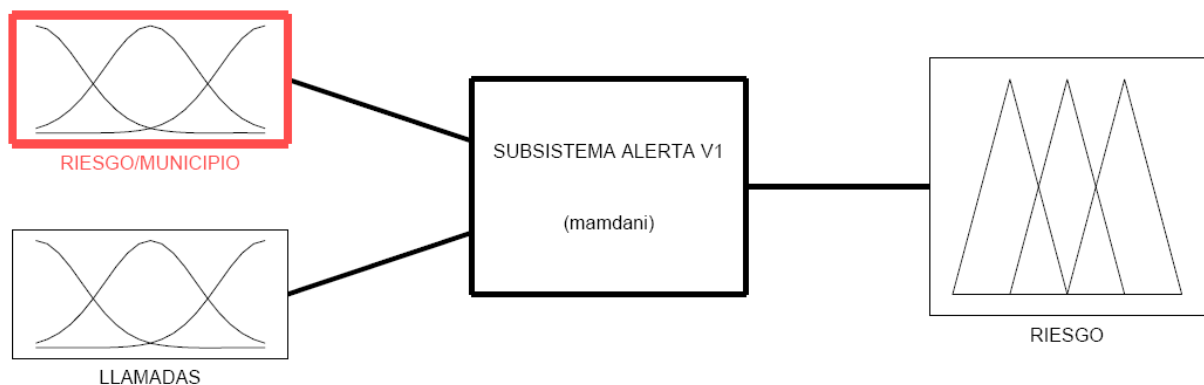


Base de conocimiento, las reglas difusas:

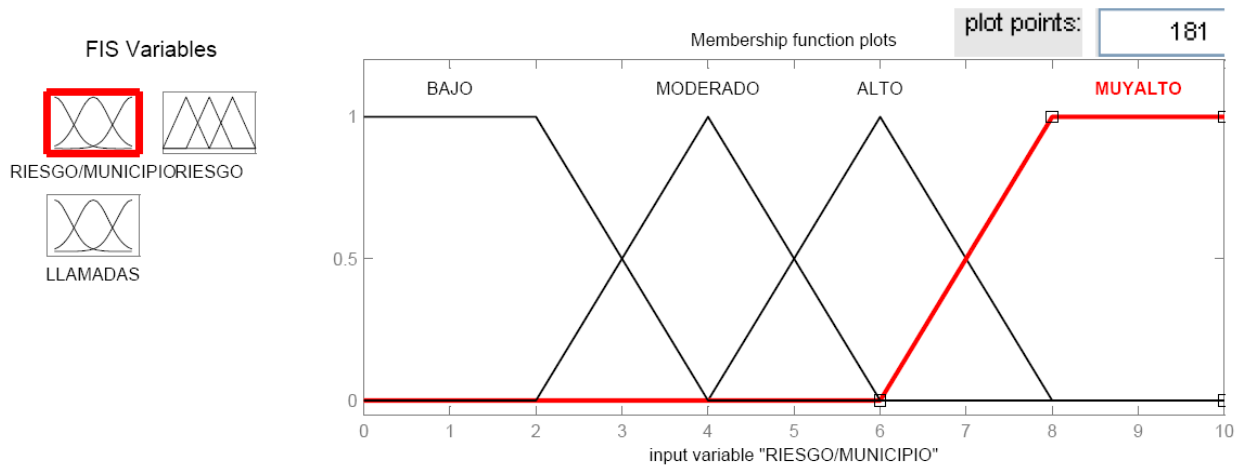


3.2.4.3.Subsistema Alerta

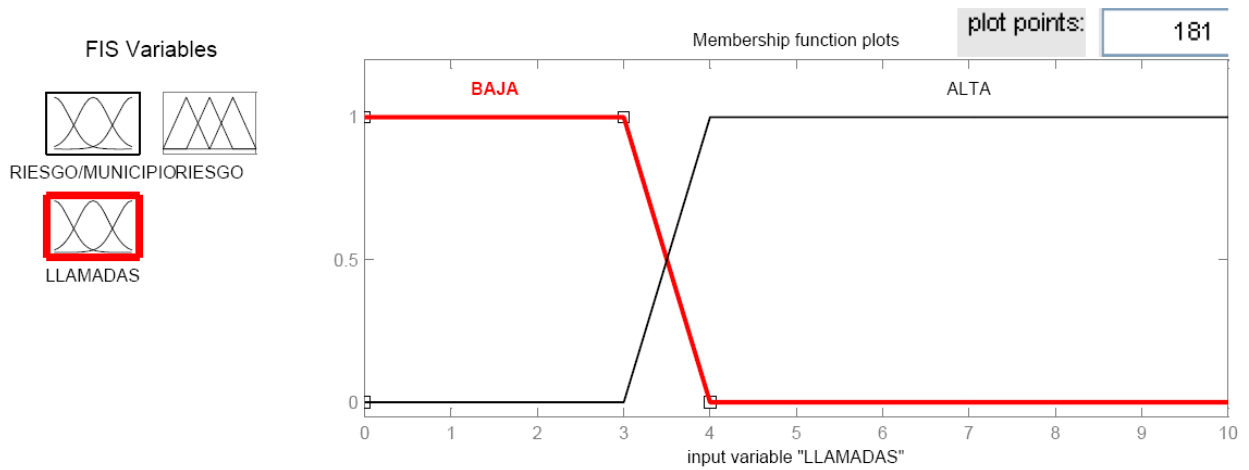
Las variables de entrada se obtienen de las alertas al 1-1-2 para los casos de incendios forestales, como son número de llamadas y municipio donde se produce el incendio. Destacar que cada municipio tiene asociado un riesgo ante incendios forestales (muy alto, alto, moderado y bajo) que viene reflejado en el INFOCA.



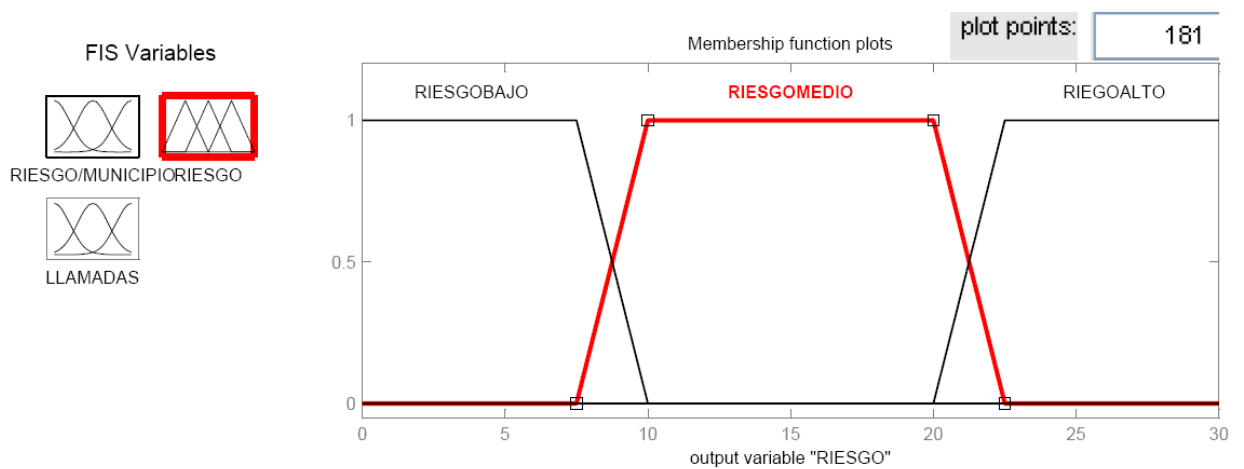
Variable de entrada riego/municipio :



Variable de entrada número de llamadas:



Variable de salida riesgo:



Base de conocimiento, las reglas difusas:

1. If (RIESGO/MUNICIPIO is BAJO) and (LLAMADAS is BAJA) then (RIESGO is RIESGOBAJO) (1)
 2. If (RIESGO/MUNICIPIO is BAJO) and (LLAMADAS is ALTA) then (RIESGO is RIESGOMEDIO) (1)
 3. If (RIESGO/MUNICIPIO is MODERADO) and (LLAMADAS is BAJA) then (RIESGO is RIESGOMEDIO) (1)
 4. If (RIESGO/MUNICIPIO is MODERADO) and (LLAMADAS is ALTA) then (RIESGO is RIESGOMEDIO) (1)
 5. If (RIESGO/MUNICIPIO is ALTO) and (LLAMADAS is BAJA) then (RIESGO is RIESGOMEDIO) (1)
 6. If (RIESGO/MUNICIPIO is ALTO) and (LLAMADAS is ALTA) then (RIESGO is RIEGOALTO) (1)
 7. If (RIESGO/MUNICIPIO is MUYALTO) and (LLAMADAS is BAJA) then (RIESGO is RIEGOALTO) (1)
 8. If (RIESGO/MUNICIPIO is MUYALTO) and (LLAMADAS is ALTA) then (RIESGO is RIEGOALTO) (1)

If RIESGO/MUNICIPIO and LLAMADAS is Then RIESGO is

BAJO BAJA RIESGOBAJO
 ALTO ALTA RIESGOMEDIO
 MUYALTO none RIEGOALTO
 MODERADO none
 none

not not not

Connection: or and

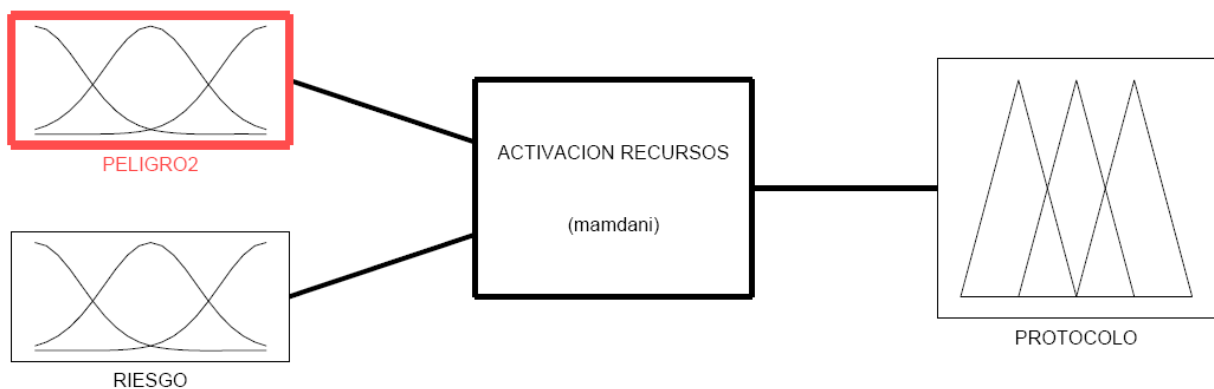
Weight: 1

Delete rule Add rule Change rule << >>

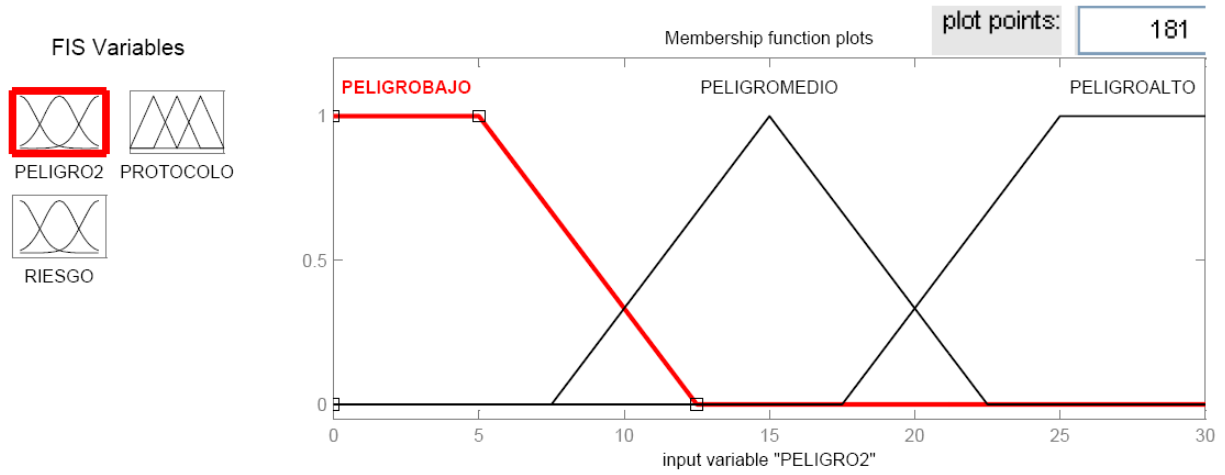
FIS Name: SUBSISTEMA ALERTA V1 Help Close

3.2.4.4. Subsistema Activación de Recursos

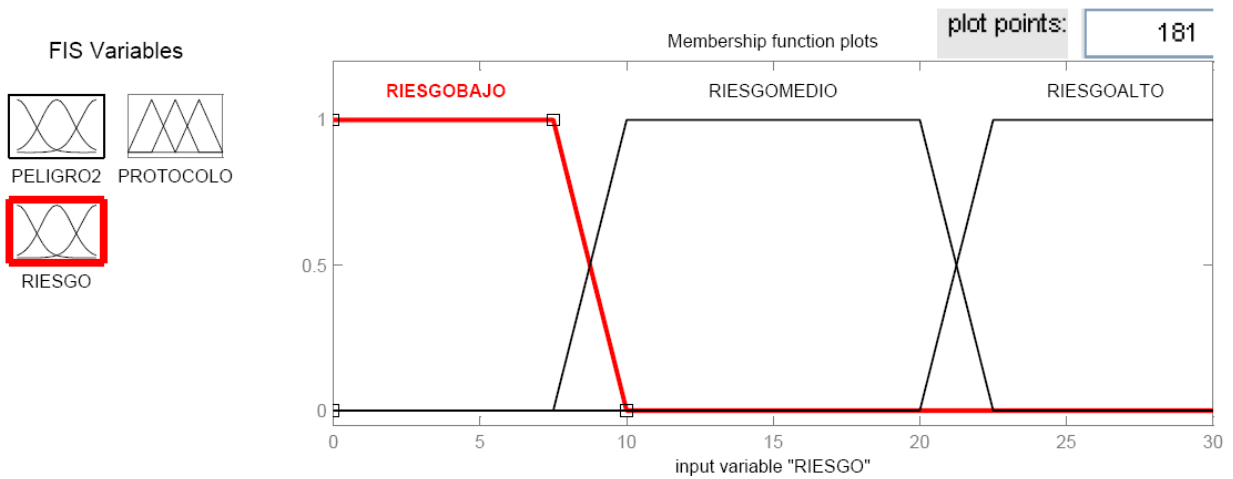
Las variables de entrada son las variables de salida de los subsistemas Meteo2 (peligro2) y Alerta (riesgo), proporcionando como respuesta del sistema el recurso o recursos a activar en cada caso (helicópteros, UME, etc.), es decir, se encargará de definir el riesgo existente, de los diferentes escenarios que se presenten, con el objetivo de activar una serie de protocolos de forma inmediata.



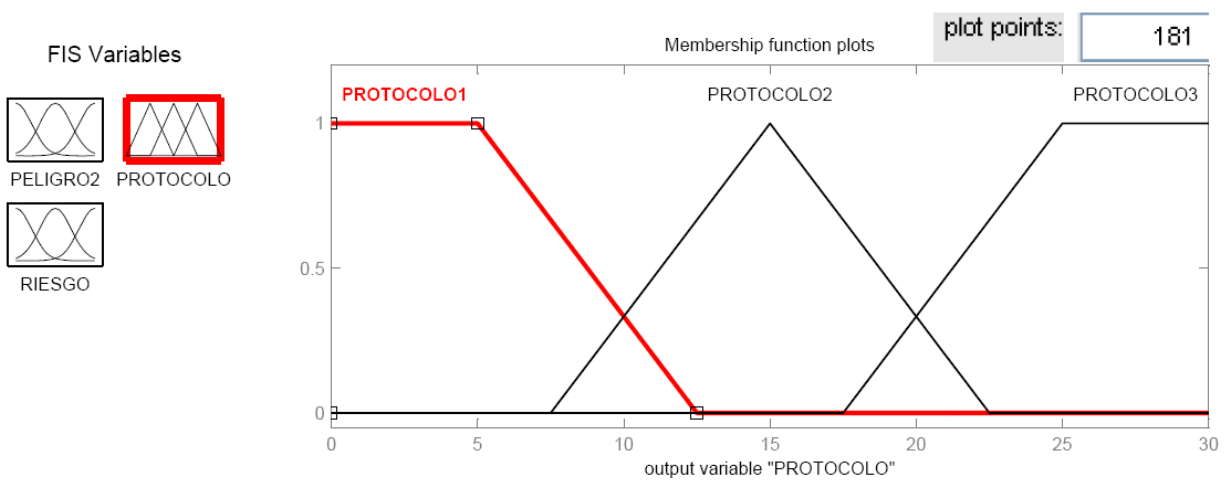
Variable de entrada peligro2:



Variable de entrada riesgo:



Variable de salida protocolo:



Base de conocimiento, las reglas difusas:

1. If (PELIGRO2 is PELIGROBAJO) and (RIESGO is RIESGOBAJO) then (PROTOCOLO is PROTOCOLO1) (1)
 2. If (PELIGRO2 is PELIGROBAJO) and (RIESGO is RIESGOMEDIO) then (PROTOCOLO is PROTOCOLO1) (1)
 3. If (PELIGRO2 is PELIGROBAJO) and (RIESGO is RIESGOALTO) then (PROTOCOLO is PROTOCOLO2) (1)
 4. If (PELIGRO2 is PELIGROMEDIO) and (RIESGO is RIESGOBAJO) then (PROTOCOLO is PROTOCOLO1) (1)
 5. If (PELIGRO2 is PELIGROMEDIO) and (RIESGO is RIESGOMEDIO) then (PROTOCOLO is PROTOCOLO2) (1)
 6. If (PELIGRO2 is PELIGROMEDIO) and (RIESGO is RIESGOALTO) then (PROTOCOLO is PROTOCOLO2) (1)
 7. If (PELIGRO2 is PELIGROALTO) and (RIESGO is RIESGOBAJO) then (PROTOCOLO is PROTOCOLO2) (1)
 8. If (PELIGRO2 is PELIGROALTO) and (RIESGO is RIESGOMEDIO) then (PROTOCOLO is PROTOCOLO2) (1)
 9. If (PELIGRO2 is PELIGROALTO) and (RIESGO is RIESGOALTO) then (PROTOCOLO is PROTOCOLO3) (1)

If PELIGRO2 is PELIGROBAJO and RIESGO is RIESGOBAJO Then PROTOCOLO is PROTOCOLO1 (1)

Connection: or and

Weight: 1

FIS Name: ACTIVACION RECURSOS

Acciones que se ejecutan en función de los valores de las diferentes salidas:

Salida	Se activa	Se prealerta	Observaciones
Entre 0 a 5		Helicóptero con base en Gran Canaria	A la espera de más información para activación
Entre 5 a 10	Helicóptero con base en Gran Canaria	Helicóptero con base en Tenerife	A la espera de más información para activación
Entre 10 a 15	Helicóptero con base en Gran Canaria y base en Tenerife	Helicóptero Fuerteventura, El Hierro y La Palma	A la espera de más información para activación
Entre 15 a 20	Helicóptero con base en Gran Canaria, base en Tenerife y base en Fuerteventura	Helicóptero del Estado (Kamov)	Helicóptero de El Hierro se mueve a Tenerife. A la espera de más información.
Entre 20 a 25	Helicóptero con base en Gran Canaria, base en Tenerife, base en Fuerteventura y Kamov	Aviones del Estado y UME	A la espera de más información
Entre 25 a 30	Helicóptero con base en Gran Canaria, base en Tenerife, base en Fuerteventura, Kamov, aviones y UME		

3.2.5. Incendio en Sur Oeste de Gran Canaria en el 2007

3.2.5.1. Introducción

Entre los días 27 de julio y 1 de agosto de 2007, se produjo en el Sur Oeste de Gran Canaria un incendio de grandes proporciones.

Las condiciones ambientales fueron extremas:

- Temperaturas máximas de 42 a 45 °C
- Temperaturas mínimas de 30 a 33 °C
- Humedad relativa mínima de 4 a 6%
- Humedad máxima nocturna de 7 a 9%
- Situación mantenida desde los días previos al inicio del fuego hasta los días posteriores del mismo.

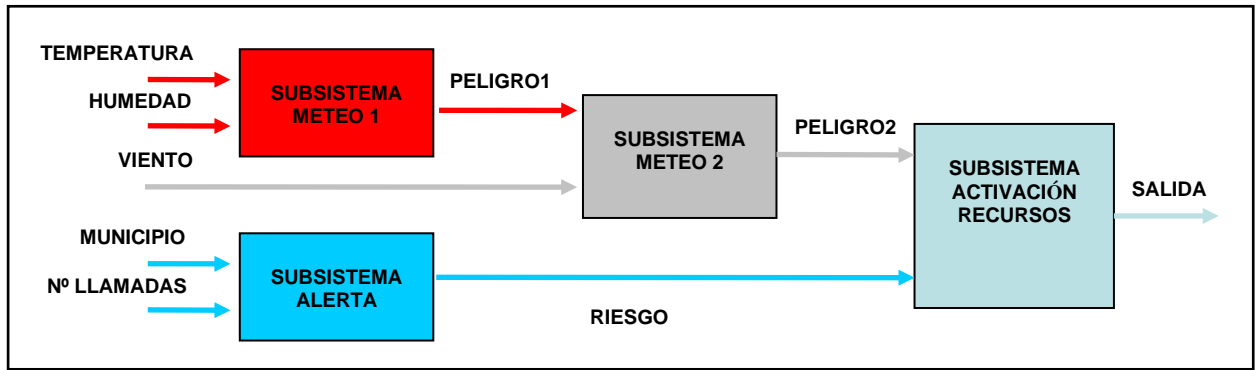
En cuanto al viento se comporto de la siguiente manera:

- Fase 1. Incendio puramente forestal en episodio de calima y viento moderado de 20 a 30 Km/h (desde las 13:52 horas del viernes 27 de julio, detección, hasta 18:03 del domingo 29 de julio)
- Fase 2. Incendio de interfaz urbano-forestal en episodio de calima y viento fuerte de hasta 50 Km/h (desde 5:52 horas del lunes 30 de julio hasta 18:00 del martes 31 de julio)

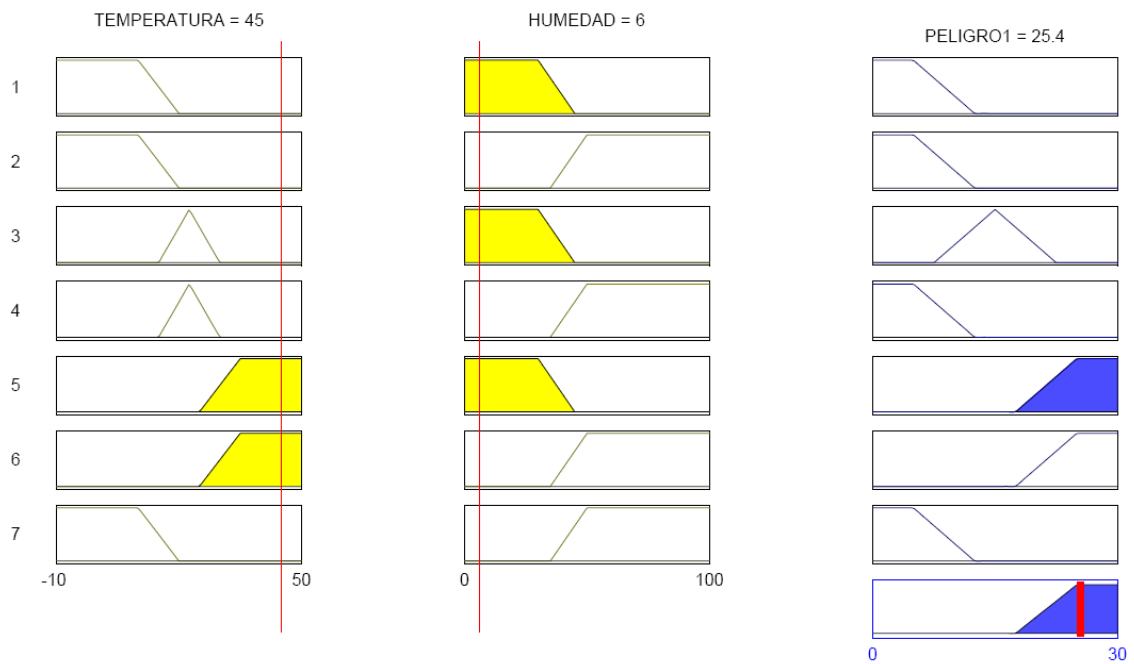
3.2.5.1. Simulación con datos reales

Vamos a introducir los datos en el sistema experto para la ayuda en la toma de decisiones basado en el motor de inferencia de lógica difusa, para comprobar si su comportamiento se asemeja a la realidad.

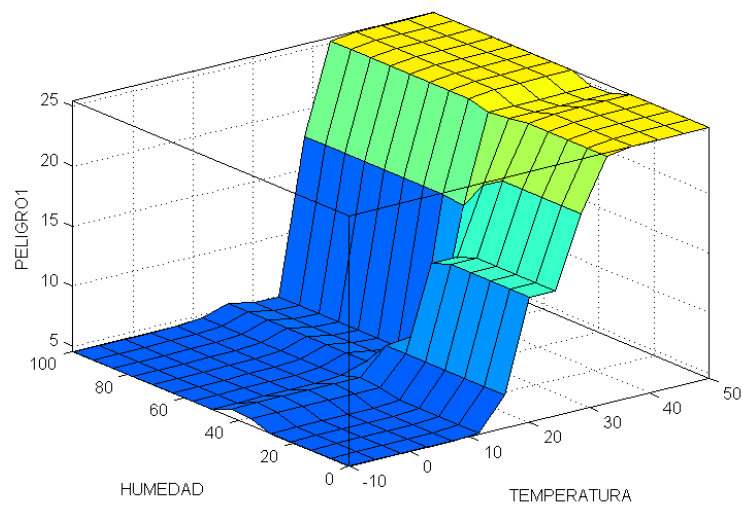
VARIABLES DE ENTRADA	
Temperatura	45°
Humedad	6%
Viento	20 Km./h
Riesgo/municipio	7
Nº llamadas	10



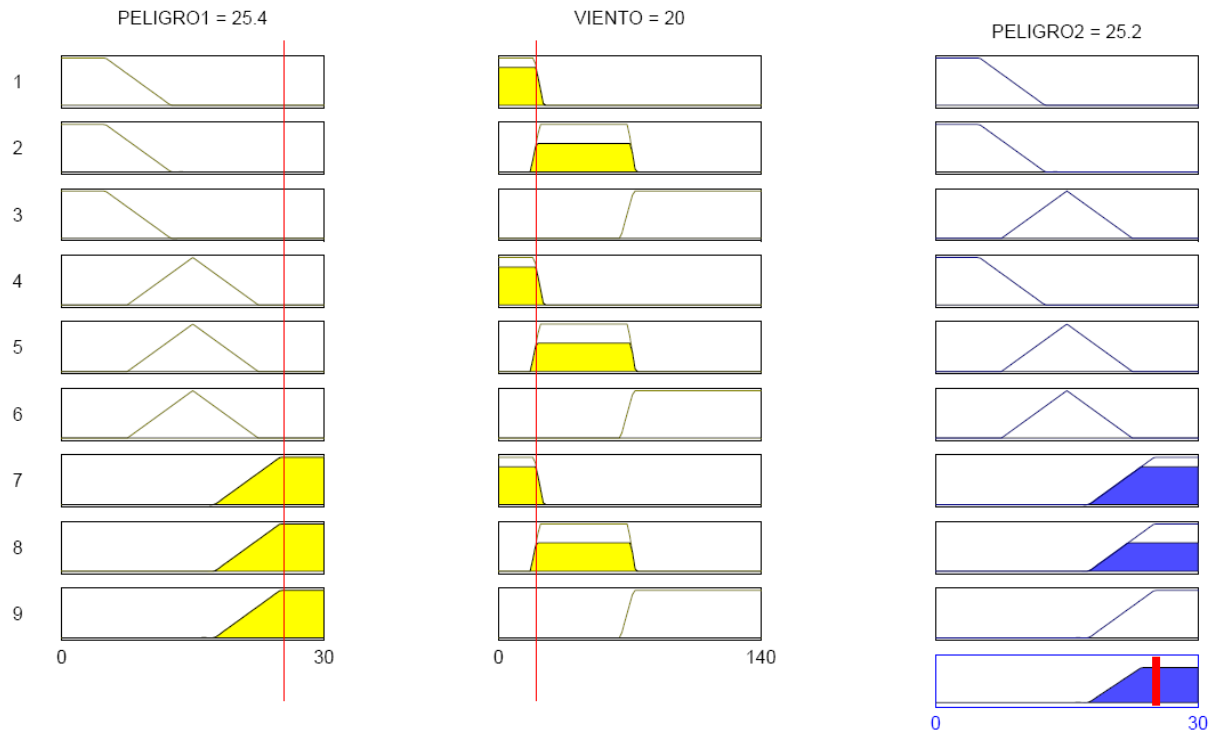
Entradas y salidas del subsistema meteo1:



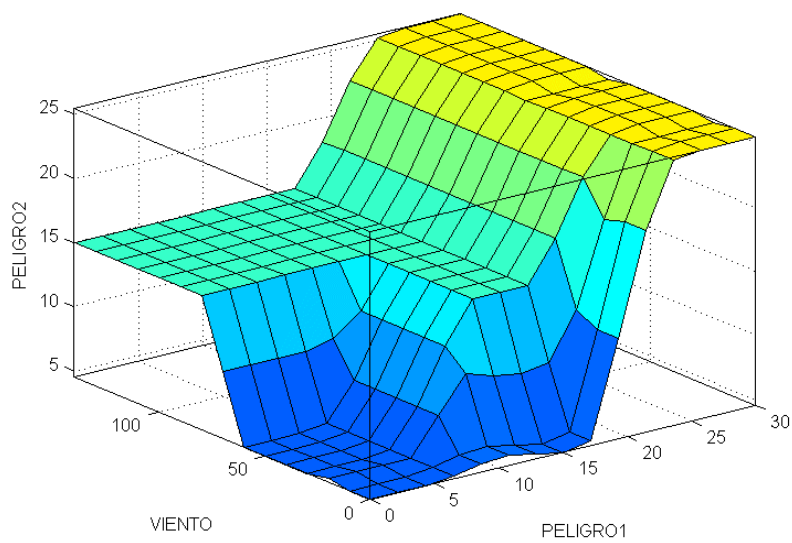
Superficie de control subsistema meteo1:



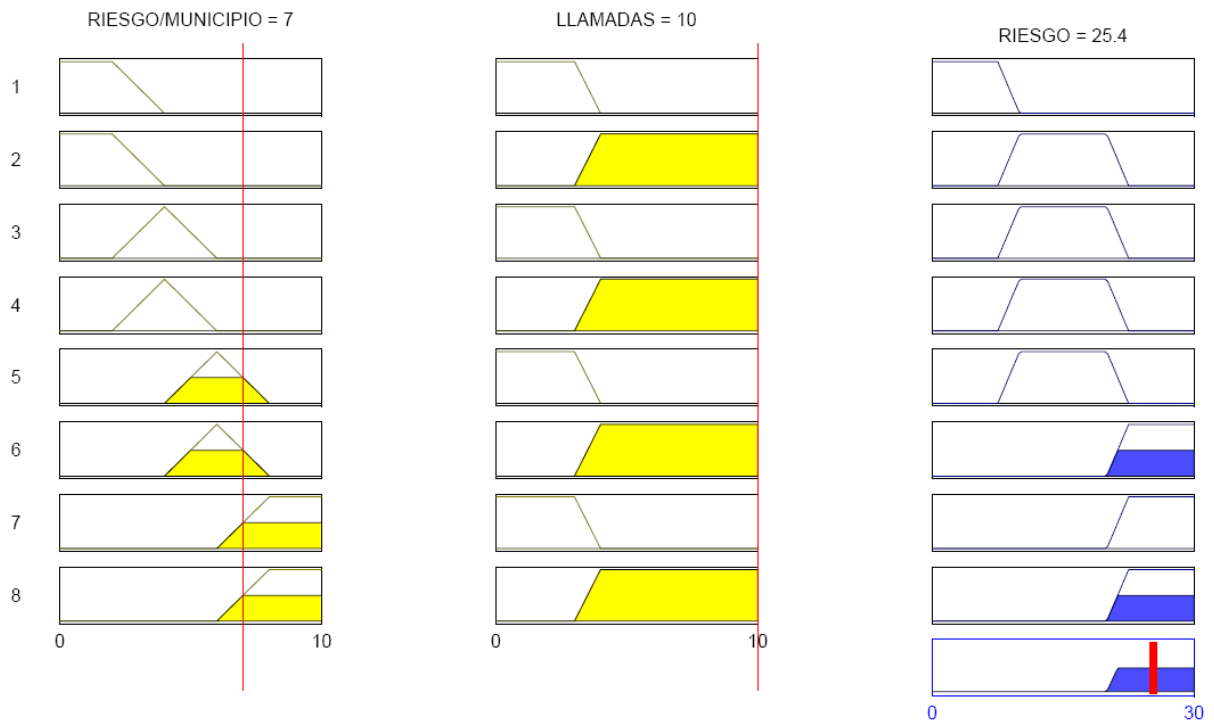
Entradas y salidas del subsistema meteo2:



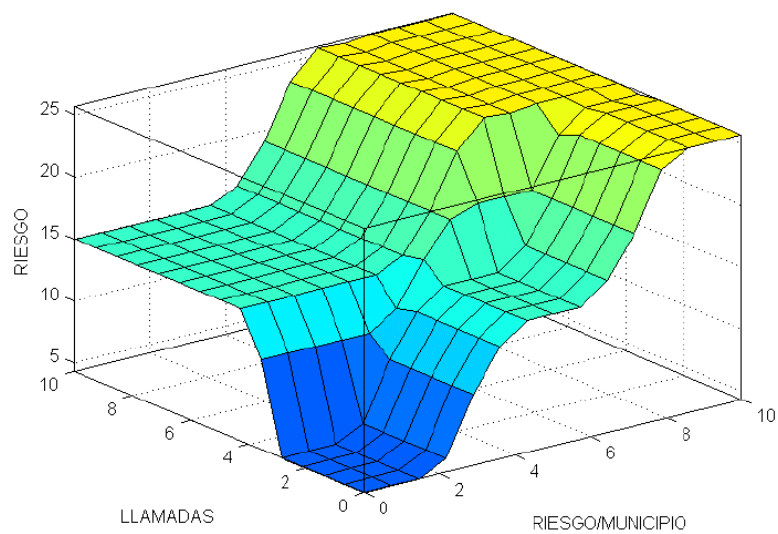
Superficie de control subsistema meteo2:



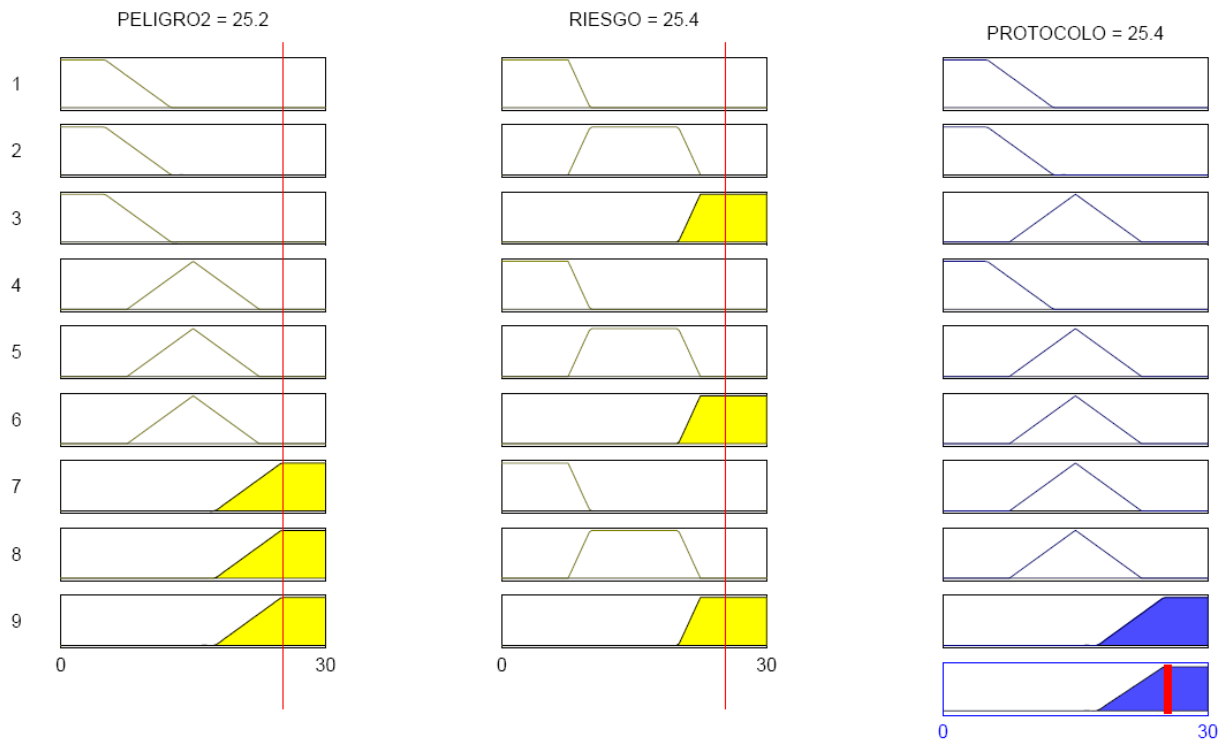
Entradas y salidas del subsistema alerta:



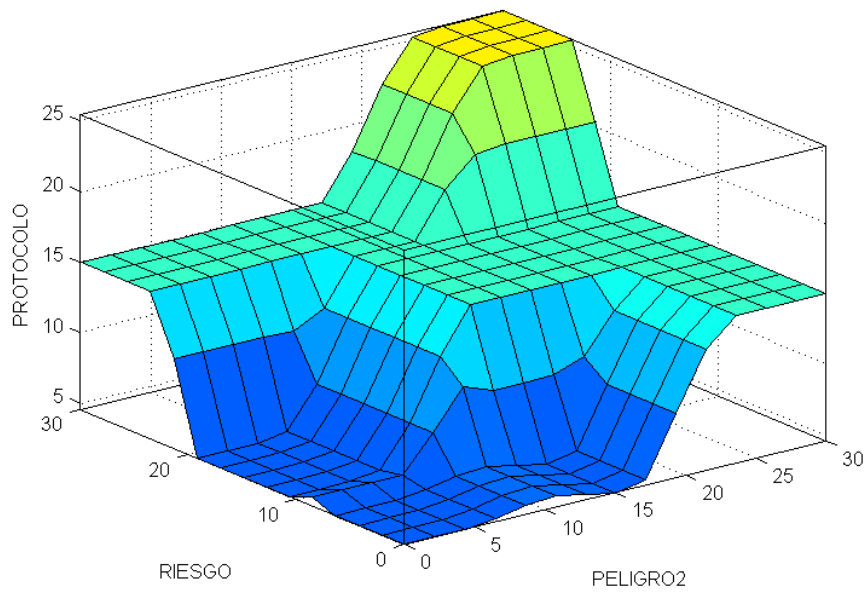
Superficie de control subsistema alerta:



Entradas y salidas del subsistema activación de recursos:



Superficie de control subsistema alerta:



Resumen de las variables de salida de los diferentes subsistemas:

VARIABLES DE SALIDA	
Peligro1	25.4
Peligro2	25.2
Riesgo	25.4
Protocolo	25.4

En base a la salida del sistema (protocolo = 25.4) se acometen las siguientes acciones (coloreadas en naranja):

Salida	Se activa	Se prealerta	Observaciones
Entre 0 a 5		Helicóptero con base en Gran Canaria	A la espera de más información para activación
Entre 5 a 10	Helicóptero con base en Gran Canaria	Helicóptero con base en Tenerife	A la espera de más información para activación
Entre 10 a 15	Helicóptero con base en Gran Canaria y base en Tenerife	Helicóptero Fuerteventura, El Hierro y La Palma	A la espera de más información para activación
Entre 15 a 20	Helicóptero con base en Gran Canaria, base en Tenerife y base en Fuerteventura	Helicóptero del Estado (Kamov)	Helicóptero de El Hierro se mueve a Tenerife. A la espera de más información.
Entre 20 a 25	Helicóptero con base en Gran Canaria, base en Tenerife, base en Fuerteventura y Kamov	Aviones del Estado y UME	A la espera de más información
Entre 25 a 30	Helicóptero con base en Gran Canaria, base en Tenerife, base en Fuerteventura, Kamov, aviones y UME		

Las acciones se asemejaron a la realidad.

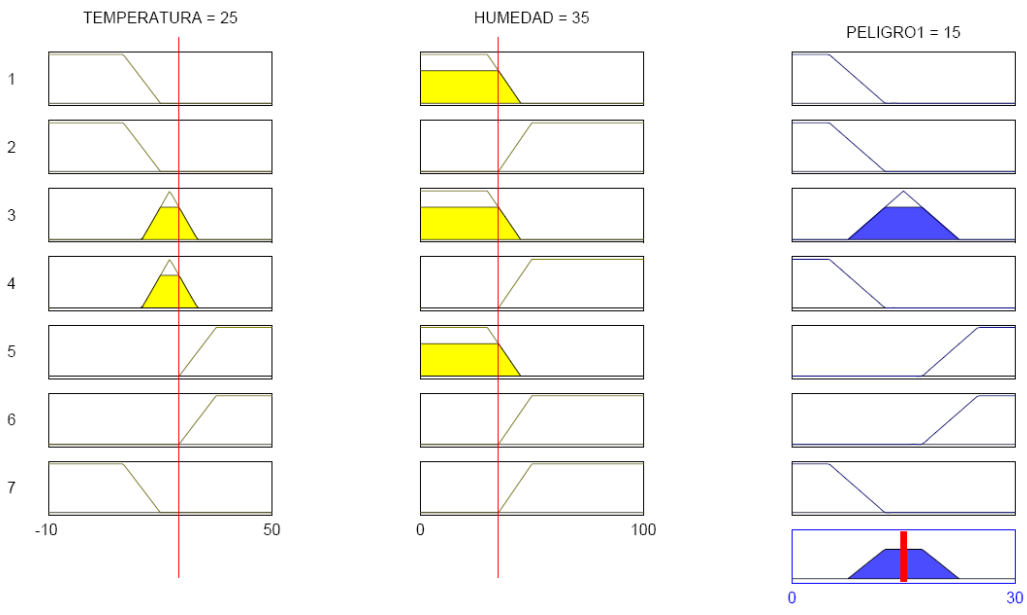
Si simulásemos una variación del viento de 20 Km./h a 50 Km./h y una humedad del 4%, hechos que se dieron en la realidad, la salida del sistema hubiera sido superior a 25.4, con lo que nos hubiéramos adentrado mas en el tramo de 25 a 30.

Si realizáramos determinadas variaciones en las variables de entrada, tales como un descenso de la temperatura de 45° a 25° y de la humedad del 6% al 35%, las variables de salida se verían notablemente afectadas.

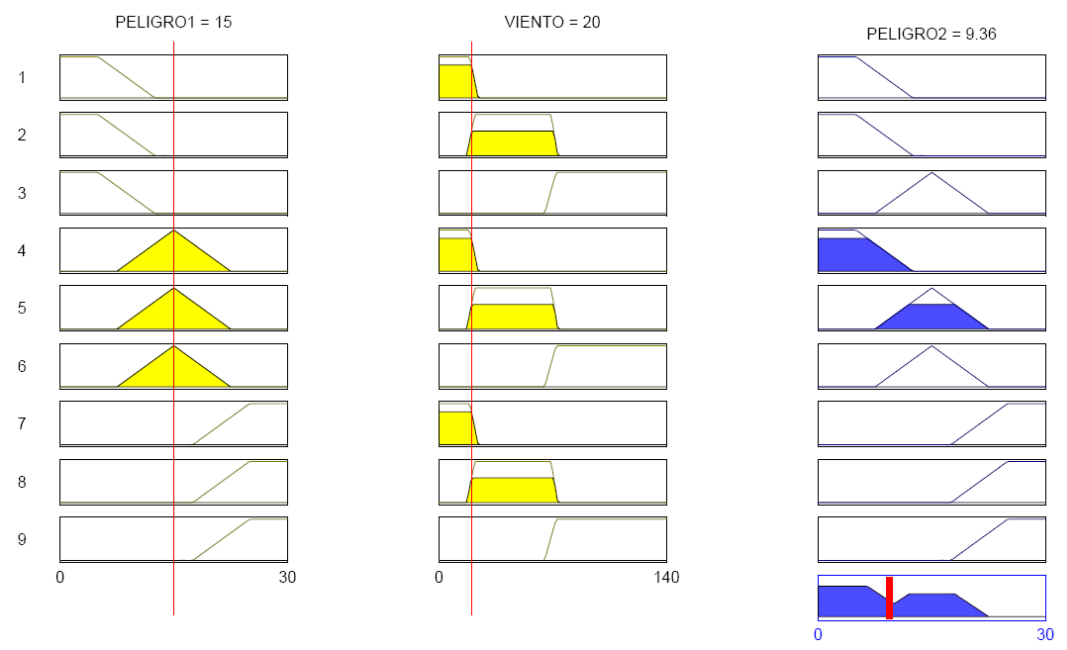
Parece evidente que cambiando las condiciones ambientales el sistema debería de reajustarse al nuevo riesgo existente.

VARIABLES DE ENTRADA	
Temperatura	25°
Humedad	35%
Viento	20 Km./h
Riesgo/municipio	7
Nº llamadas	10

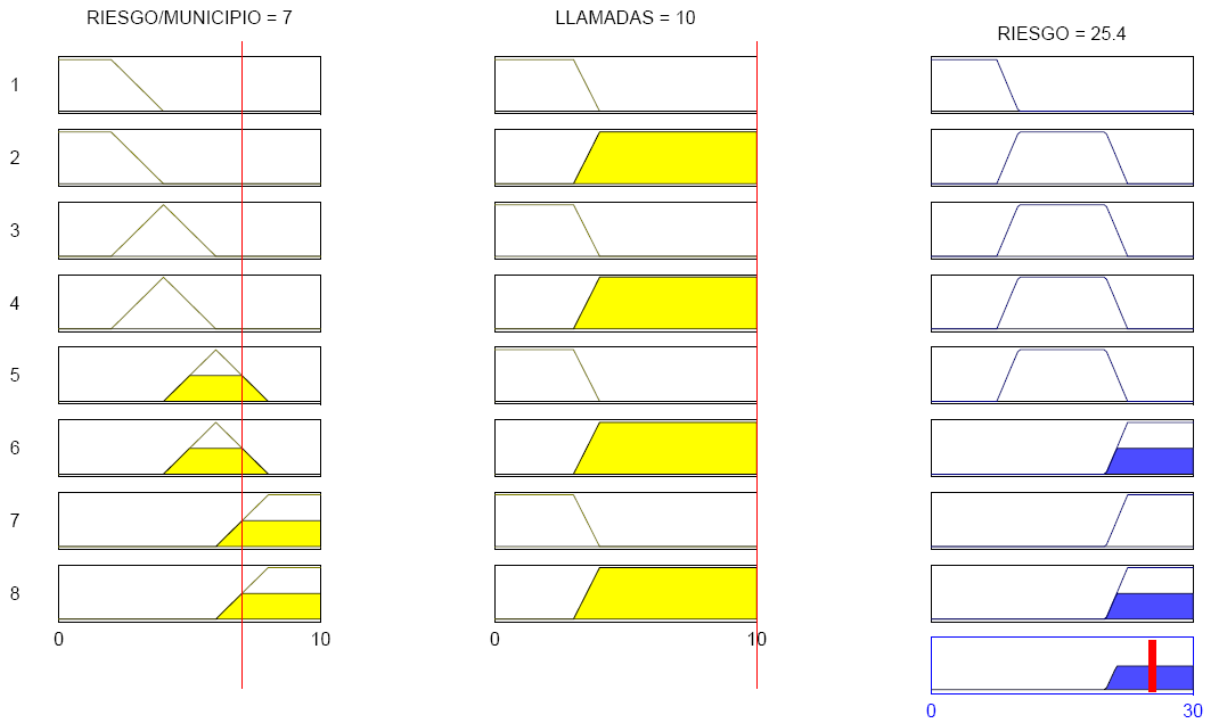
Entradas y salidas del subsistema meteo1:



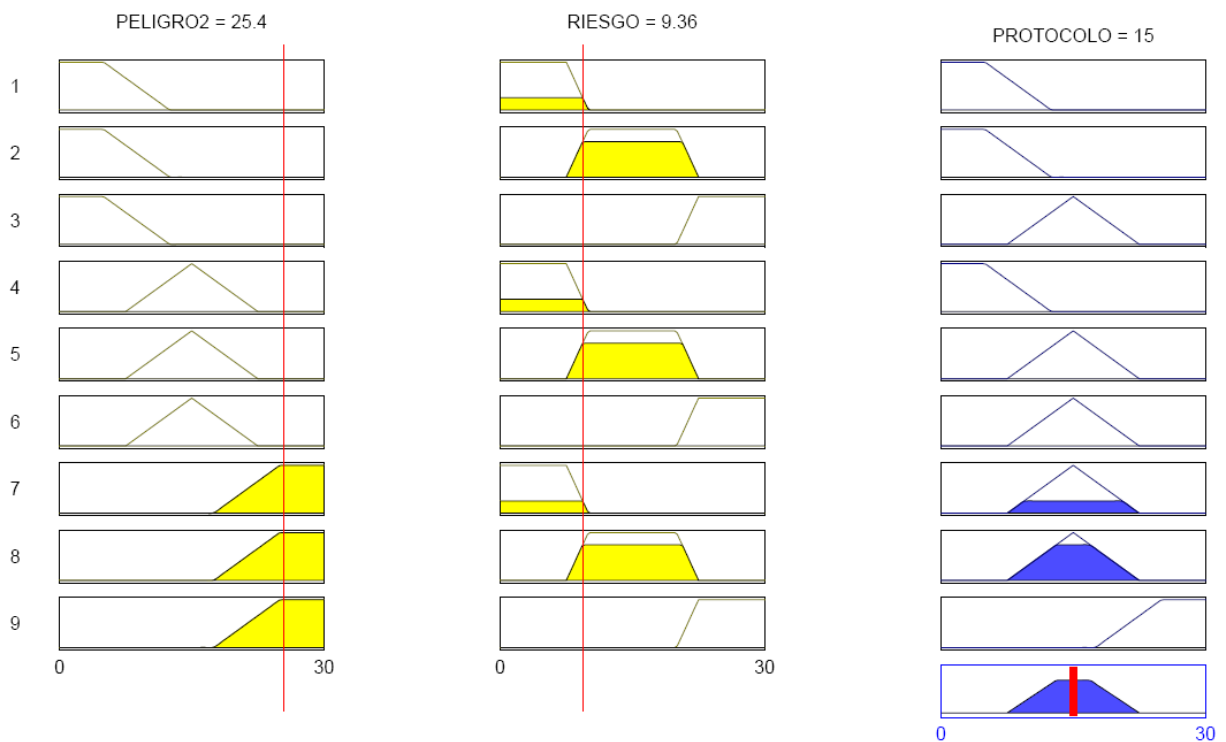
Entradas y salidas del subsistema meteo2:



Entradas y salidas del subsistema alerta:



Entradas y salidas del subsistema activación de recursos:



Resumen de las variables de salida de los diferentes subsistemas:

VARIABLES DE SALIDA	
Peligro1	15
Peligro2	9.36
Riesgo	25.4
Protocolo	15

En base a la salida del sistema (protocolo = 15) se acometen las siguientes acciones (coloreadas en naranja):

Salida	Se activa	Se prealerta	Observaciones
Entre 0 a 5		Helicóptero con base en Gran Canaria	A la espera de más información para activación
Entre 5 a 10	Helicóptero con base en Gran Canaria	Helicóptero con base en Tenerife	A la espera de más información para activación
Entre 10 a 15	Helicóptero con base en Gran Canaria y base en Tenerife	Helicóptero Fuerteventura, El Hierro y La Palma	A la espera de más información para activación
Entre 15 a 20	Helicóptero con base en Gran Canaria, base en Tenerife y base en Fuerteventura	Helicóptero del Estado (Kamov)	Helicóptero de El Hierro se mueve a Tenerife. A la espera de más información.
Entre 20 a 25	Helicóptero con base en Gran Canaria, base en Tenerife, base en Fuerteventura y Kamov	Aviones del Estado y UME	A la espera de más información
Entre 25 a 30	Helicóptero con base en Gran Canaria, base en Tenerife, base en Fuerteventura, Kamov, aviones y UME		

El incendio existe ya que hay 10 llamadas de alerta, sin embargo las condiciones no son extremas por lo que la respuesta se adapta a las nuevas condiciones.

4.CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS

4.1. Conclusiones

Los Sistemas Expertos son sistemas basados en reglas que pueden superar fácilmente las capacidades humanas (como la de síntesis), por ejemplo, cuando se requiere analizar un gran volumen de datos en un corto espacio de tiempo (como en los servicios de emergencias). El experto humano, en múltiples circunstancias, se ve

obligado a desprestigiar parte de la información existente desechando la que no considera importante, en cambio, el sistema experto como consecuencia de su mayor velocidad de proceso tiene mayor capacidad para el análisis de toda la información, sin que aparezca el cansancio u otros efectos propios de la característica humana y que empeoran los resultados.

4.1.1.Sistema experto para la ayuda en la toma de decisiones basado en el motor de inferencia de PLATEA4D

Se puede observar, dada la gran cantidad de reglas que se generan, que con el sistema experto de ayuda en la toma de decisiones basado en el motor de inferencia de PLATEA4D se genera una importante ayuda en el análisis de un gran volumen de datos y procedimientos, que hay que poner en marcha y manejar para el caso de los incendios forestales.

Este sistema trabaja en base al álgebra booleana, se cumple o no se cumple. Reconoce cuáles son las reglas aplicables, decide cual va a aplicar y la aplica y utilizando los datos que se le suministran, recorre la base de conocimientos para alcanzar una solución.

La estrategia de control es de encadenamiento progresivo, es decir, se comienza con los hechos disponibles en la base de datos, y se buscan reglas que satisfagan esos datos, es decir, reglas que verifiquen la parte SI. Si no se puede aplicar ninguna regla, se termina sin éxito; en caso contrario se elige cualquiera de las reglas aplicables y se ejecuta su parte acción.

El enfoque que se ha utilizado para el sistema experto se le llama también guiado por datos, porque es el estado de la base de datos el que identifica las reglas que se pueden aplicar. El usuario comenzará introduciendo datos del problema en la base de datos del sistema y son los datos que va introduciendo el usuario los que irán determinando las reglas a aplicar.

4.1.2.Sistema experto para la ayuda en la toma de decisiones basado en el motor de inferencia de lógica difusa

La lógica difusa se fundamenta en el concepto de que todo es cuestión de grado, lo cual permite manejar información vaga o de difícil especificación. A diferencia de la lógica clásica, la lógica difusa tiene la capacidad de reproducir de manera aceptable y eficiente los modos usuales del razonamiento humano.

Este tipo de metodología suele ser eficaz en problemas donde la fuente de la imprecisión proviene de la falta de fronteras bien definidas. Trabajar con imprecisión o ambigüedad, datos erróneos o ausencia de estos es algo a lo que los servicios de seguridad y emergencias están acostumbrados. “Me parece ver humo”, “lejos”, “hace

mucho viento” y “poco calor” son respuestas típicas a preguntas realizadas por las centrales de emergencias a los accertantes ante posibles alertas por incendios forestales.

Además, entidades como la AEMET trabaja con conceptos imprecisos como la probabilidad (cuando la probabilidad que ocurra un fenómeno meteorológico está entre el 40 y 70%) y la posibilidad (cuando la probabilidad que ocurra un fenómeno meteorológico está entre el 10 y 40%).

**AGENCIA ESTATAL DE METEOROLOGÍA
GRUPO DE PREDICCIÓN Y VIGILANCIA DE CANARIAS
BOLETÍN DE FENÓMENOS ADVERSOS. NIVEL NARANJA
BOLETÍN NÚMERO 19/CCS
EMITIDO A LAS 08:02 HORA OFICIAL DEL 31/07/2009**

C. AUTÓNOMA: CANARIAS

Fenómeno(1) - Temperaturas máximas.
39 °C.

Nivel: **naranja.**

Ámbito geográfico: Gran Canaria (Medianías norte); Tenerife (Costa norte, La Orotava y Vilaflor).

Hora de comienzo: 12:00 hora oficial del 31/07/2009.

Hora de finalización: 19:00 hora oficial del 31/07/2009.

Probabilidad: 40%-70%.

Comentario: Las temperaturas máximas podrán alcanzar valores de hasta 40°C puntualmente en zonas de medianías (300 a 900 metros) de Gran Canaria y Tenerife. En estas zonas las temperaturas mínimas serán significativamente altas.

Parece evidente que un sistema basado en lógica difusa podría encajar ante tal imprecisión de datos y dar una respuesta precisa ante una tipología de emergencia como son los incendios forestales.

El sistema desarrollado es capaz de dar respuestas concretas ante la imprecisión o carencia de datos y con pequeños ajustes (entrenándolo con casos reales) es capaz de mejorar al comportamiento humano dando una respuesta más rápida y eficaz.

4.1.3.Conclusión final

La implementación de la gran cantidad de reglas contenidas en el INFOCA, parece adaptarse muy bien al motor de inferencia del PLATEA4D. En su inmensa mayoría suelen ser reglas claras sin ningún tipo de ambigüedad y que se cumplen o no se cumplen.

No olvidemos que lo que el gestor de la emergencia busca es poder navegar por las diferentes fases en las que puede evolucionar la emergencia, en función de los aspectos que implican cambios en los niveles de gravedad y de competencias entre las diferentes administraciones públicas implicadas, de la manera más rápida y eficaz.

Cuando tratamos con datos mas ambiguos, también dentro del INFOCA, parece adaptarse muy bien el motor de inferencia basado en lógica difusa.

Por lo tanto podemos concluir que aunque cada sistema por separado aporta unas funcionalidades diferentes, la integración de ambos sobre la misma plataforma podría aportar una mayor eficacia y eficiencia al sistema final y por tanto a la gestión de la emergencia.

4.2.Líneas futuras

Dentro de las posibles acciones y objetivos que darían continuidad a este trabajo se propone con relación al objetivo 1:

- Implantación en las Salas Operativas del 1-1-2, entrenamiento de los usuarios, puesta en marcha, pruebas y verificación (verificación).
- Ajuste del sistema de reglas en base a los resultados de la puesta en marcha y verificación.
- Ampliar el rango del proceso operativo así como a dotar de una mayor inteligencia a los bloques definidos mediante el empleo de procesos de cálculo computacional (optimizadores mono o multiobjetivos, etc.).

Con relación a otras metodologías de Inteligencia Artificial:

- Comparar cualitativamente el comportamiento en la práctica del conjunto de reglas insertado en el Sistema de Inferencia de PLATEA 4D con el comportamiento previsible de otras metodologías de Inteligencia Artificial, concretamente con Redes Neuronales (RN). Emitir recomendaciones de actividades de I+D que permitan una implementación en PLATEA 4D de módulos para toma de decisiones, en incendios forestales, basados en RN.

5.BIBLIOGRAFÍA

- Introducción a la lógica difusa. Guillermo Morales Luna. Centro de Investigación y Estudios Avanzados del IPN
- Apuntes de lógica difusa del Master en Sistemas Inteligentes y Aplicaciones Numéricas en Ingeniería. Ricardo Aguasca. Universidad de Las Palmas de Gran Canaria.
- Sistemas Expertos y Modelos de Redes Probabilísticas. Enrique Castillo. Universidad de Cantabria.

- Iniciación a la Meteorología. Mariano Mediana. Editorial Paraninfo. Octava edición 1994.
- Manual de Términos Meteorológico. INM Año 1992
- Manual del observador de meteorología. J.M. Jansa Guardiola. INM.