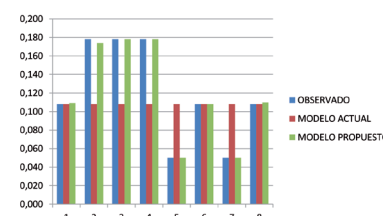


Sistema experto para tomar decisiones de emergencias y seguridad ante meteorología adversa

EXPERT SYSTEM FOR MAKING DECISIONS ABOUT EMERGENCY AND SAFETY IN CASE OF ADVERSE METEOROLOGICAL CONDITIONS

DOI: <http://dx.doi.org/10.6036/7469> | Recibido: 17/11/2014 • Aceptado: 06/03/2015



Luis Juan Santacreu-Ríos¹, Alejandro Talavera-Ortiz², Ricardo Aguasca-Colomo², Blas José Galván-González²

¹ Centro Coordinador de Emergencias y Seguridad (CECOES).
Calle León y Castillo, 431 - 35007 Las Palmas de Gran Canaria.

² Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. División de Computación Evolutiva y Aplicaciones.

ABSTRACT

• The volume of information used in the Emergency Coordination Center (1-1-2 CECOES), which depends on the Canary Government, during and after any adverse weather phenomenon (FMA in Spanish) is now significantly greater than before. The amount of bulletins warnings and forecasts about FMA sent by the Meteorological Agency (AEMET), and received at the 1-1-2 CECOES, is really considerable. The information should be treated as soon as possible in order to generate the corresponding pre-alerts and notifications, as well as public notices to the citizens.

The rule-based expert systems can overcome the human capacity, for example, when required to analyze a large volume of data in a limited period of time, as in the emergency services. Moreover, Fuzzy Logic is an artificial intelligence methodology that is effective when dealing with vagueness or ambiguity, erroneous or absence of information, something that the emergency services are used to: for example, "It rains a lot", "the storm is far away", "it is windy" and "we have low temperatures", are typical responses given by some callers when they alert 1-1-2. Finally, Weather Forecasts usually work with imprecise concepts such as: possibility, (when the probability that a weather phenomenon occurs is between 10 and 40%) and probability, (when between 40 and 70%).

We have primarily developed an expert helping-system for decision-making based on an inference engine implemented with Fuzzy Logic in CECOES 1-1-2. This system is able to provide clear answers at the inaccuracy or lack of information, and if trained with real cases, it can improve human behavior giving a quick and effective response.

• **Keywords:** Emergency, Safety, Adverse Weather Phenomena, Expert System, Artificial Intelligence, Fuzzy Logic, Analytic Hierarchy Process (AHP).

RESUMEN

La información que se maneja en el Centro Coordinador de Emergencias y Seguridad 1-1-2 del Gobierno de Canarias (CECOES 1-1-2), es algo más que significativa antes, durante y después de cualquier Fenómeno Meteorológico Adverso (FMA). El total de boletines de avisos y predicciones de FMA enviados por la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) y recibidos en el CECOES 1-1-2, en cualquier FMA, son considerables. La información debe ser tratada en el menor tiempo posible, con el fin de generar las prealertas y alertas correspondientes, a la vez que los avisos a la población.

Los Sistemas Expertos basados en reglas pueden superar las capacidades humanas, por ejemplo, cuando se requiere analizar un gran volumen de datos en un corto espacio de tiempo, como ocurre en los servicios de emergencias.

Por otro lado, la Lógica Difusa es una metodología del área de Inteligencia Artificial que es eficaz cuando se trabaja con imprecisión o ambigüedad, datos erróneos o ausencia de estos, algo a lo que los servicios de emergencias están acostumbrados. "Llueve mucho", "lejos", "hace mucho viento" y "poco calor" son respuestas típicas dadas por los alertantes cuando llaman al 1-1-2.

Por último, en meteorología se trabaja con conceptos imprecisos como posibilidad (cuando la probabilidad que ocurra un fenómeno meteorológico está entre el 10% y 40%) y probabilidad (cuando está entre el 40% y 70%).

Ante todo esto se ha desarrollado un sistema experto de ayuda en la toma de decisiones basado en un motor de inferencia implementado con Lógica Difusa para el CECOES 1-1-2, capaz de dar respuestas concretas ante la imprecisión o carencia de datos, que entrenándolo con casos reales es capaz de mejorar al comportamiento humano, dando una respuesta más rápida y eficaz.

Palabras clave: Emergencia, seguridad, Fenómeno Meteorológico Adverso, Sistema Experto, Inteligencia Artificial, Lógica Difusa, Proceso Analítico Jerárquico (AHP).

1. INTRODUCCIÓN

Las Comunidades Autónomas en España tratan los fenómenos meteorológicos adversos (FMA) según las especificidades de sus *Planes de Protección Civil* (instrumentos que utilizan para atender las emergencias) y salvo las que tienen agencia propia para la predicción meteorológica (Agencia Vasca de Meteorología), todas trabajan con la información fa-

cilitada por la AEMET y con conjuntos de expertos. Esto hace que todas traten los FMA con bastantes similitudes y que los problemas que surgen tengan múltiples coincidencias.

Desde hace más de una década, la toma de decisiones ante un FMA en Canarias ha seguido las siguientes fases:

1. La información facilitada por la AEMET ante la detección de un FMA, recibida en el CECOES 1-1-2, se pone en conocimiento de la Dirección General de Seguridad y Emergencias del Gobierno de Canarias (DGSE), como órgano competente en las declaraciones de prealerta, alerta o alerta máxima.
2. En base al análisis de la información recibida y en aplicación al Plan Específico de Emergencias de Canarias por Riesgos de Fenómenos Meteorológicos Adversos (PEFMA) [1], la DGSE realiza la declaración de prealerta, alerta o alerta máxima. En el tratamiento de la información influye la cantidad recibida, como ha sido transmitida a través de los diferentes canales y si ha sido influenciada en el proceso, la experiencia previa de los decisores, el tiempo disponible para tomar la decisión, etc.
3. La declaración es notificada al CECOES 1-1-2 que realiza los comunicados a las administraciones, organismos, servicios operativos y empresas involucradas en la operatividad del PEFMA, además de los avisos a la población en caso necesario. Cuando se recibe información adicional o datos reales, cuando el FMA está en curso, puede cambiar la declaración y se repite el proceso desde la fase 1.

Los problemas que surgen son:

1. El proceso está influenciado por el conjunto de expertos involucrado en la toma de decisiones, que no siempre es el mismo, ya que al tratarse de un servicio que funciona las 24 horas al día, los 365 días al año, el personal rota según los turnos de trabajo.
2. Se trabaja con imprecisión, ambigüedad, datos erróneos o ausencia de estos y expresiones de los seres humanos. Además, en meteorología se trabaja con conceptos imprecisos y las predicciones meteorológicas se realizan utilizando modelos matemáticos que no siempre se cumplen. Por otro lado, la singularidad de la geografía de Canarias, lo que se conoce como efectos locales, no la tiene en cuenta los modelos utilizados pero sin embargo si se encuentra en el conocimiento de los expertos.
3. Se maneja mucha información y se toman múltiples decisiones, que afectan a la vida y los bienes de las personas, en un tiempo limitado. La información debe ser tratada en el menor tiempo posible para generar las prealertas, alertas y alertas máximas, así los como comunicados y avisos a la población.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. SISTEMA EXPERTO PARA TOMAR DECISIONES BASADO EN LÓGICA DIFUSA Y AHP

2.1.1. Introducción

Las soluciones a los problemas planteados son:

1. Seleccionar un conjunto de expertos (ver 2.2.1), especialistas en seguridad y emergencias con un alto grado

de conocimiento en el PEFMA y FMA. Para la selección se aplica el “Coeficiente de Competencia Experta” o “Coeficiente K” [12] [13].

2. Utilizar el método AHP, propuesto por Saaty [3] [4], para recoger el conocimiento de los expertos, dando consistencia a los juicios a la vez de soporte matemático. Se genera una base de conocimientos y se evita que la toma de decisiones pierda objetividad porque venga influenciada por el conjunto de expertos que se encuentre de turno. Además, se puede introducir nuevo conocimiento y se evita que desaparezca cuando los expertos se jubilan o dejan de trabajar en el sector. Por último, AHP está cerca de un lenguaje *Fuzzy* por lo que es ideal para trabajar con la Lógica Difusa.
3. Utilizar la Lógica Difusa para trabajar con la imprecisión o ambigüedad, datos erróneos o ausencia de estos y poder comprender y funcionar con las expresiones de los seres humanos (ver 2.1.3). Construimos funciones de pertenencia para poder evaluar las alternativas posibles en cada momento (declaraciones de prealerta, alerta o alerta máxima). El grado de pertenencia a determinada función es lo que el sistema utilizará para proponer la alternativa idónea.
4. Variar la tradicional metodología AHP Fuzzy [11] para simplificar los cálculos con los conjuntos difusos y aplicar AHP para después fusificar.
5. Gestionar la gran cantidad de información en un corto lapso de tiempo, automatizando todo el proceso mediante un sistema experto basado en reglas [5], en el que la base de conocimiento ha sido generada mediante AHP y el motor de inferencia se basa en Lógica Difusa [6].

2.1.2. Métodos de Decisión Multicriterio (AHP)

Para tomar decisiones eficientes se necesita: la experiencia de los expertos e información relevante y contrastada que refleje la realidad.

Los problemas de decisión cuyas alternativas son un número finito de valores, son estudiados por los Métodos de Análisis de Decisión Multicriterio, como AHP [3] [4], basado en la obtención de pesos de importancia para criterios, subcriterios y alternativas mediante la comparación por pares. El decisor constituye “juicios de valores” basándose en la escala numérica de Saaty (del 1 al 9). El método revisa la consistencia de los juicios.

AHP descompone el problema como una jerarquía y genera prioridades locales y globales de los diferentes elementos.

2.1.3. Lógica Difusa

La Lógica Difusa [7] [8] [9] trabaja con conjuntos difusos, que vienen caracterizados por una función de pertenencia que asocia a cada elemento un valor en el intervalo [0 1], lo que determina su grado de pertenencia al conjunto.

Un conjunto difuso está asociado a un valor lingüístico, definido por una palabra, etiqueta o adjetivo, lo que encaja con las expresiones de los seres humanos.

La granularidad de la incertidumbre [10] es el nivel de distinción entre los distintos niveles de incertidumbre de forma que se pueda representar correctamente la distinción que se desea.

2.2. SISTEMA EXPERTO PARA LA TOMA DE DECISIONES BASADO EN LÓGICA DIFUSA Y AHP PARA EL CECOES 1-1-2 ANTE METEOROLOGÍA ADVERSA

2.2.1. Selección de expertos

Para confeccionar el grupo de expertos utilizamos el método descrito por García y Fernández [12] y Cabero [13], denominado “Coeficiente K”. El coeficiente K se obtiene a través de:

$$K = \frac{(Kc + Ka)}{2}$$

Kc: coeficiente de conocimiento del experto acerca del problema.
Ac: valor numérico de la autoevaluación del conocimiento del propio experto.

$$Kc = \frac{Ac}{10}$$

Ka: coeficiente de argumentación de los criterios para cada experto.

$$Ka = \sum_{i=1}^i Ci$$

Ci es el valor que corresponde al nivel (alto, medio y bajo) aportado por cada experto para cada fuente de conocimiento. Según García y Fernández [12] el coeficiente de competencia se evalúa a partir de:

- Si $0.8 \leq K \leq 1.0$ el coeficiente de competencia es alto.
- Si $0.5 \leq K \leq 0.8$ el coeficiente de competencia es medio.
- Si $K \leq 0.5$ el coeficiente de competencia es bajo.

Solo 4 expertos tienen un coeficiente de competencia alto, con ellos trabajamos para la extracción del conocimiento mediante AHP.

2.2.2. Sistema experto para tomar de decisiones basado en Lógica Difusa y AHP para el CECOES 1-1-2 ante meteorología adversa

Seleccionados los expertos y apoyándonos en la Fig. 1 la descripción general del sistema es:

- La entrada de datos, los relativos al FMA, se fusifican para ser tratados por el núcleo del sistema. La fusificación convierte valores reales en valores difusos. Las variables de entrada, los rangos de variación y los conjuntos difusos asociados con sus funciones de pertenencia se definen en 2.2.3 y 2.2.4.
- En el núcleo del sistema, donde se encuentra la base de conocimiento en forma de reglas extraídas de los expertos mediante AHP, se selecciona una respuesta en base a la entrada ya fusificada. Las reglas han sido revisadas y ajustadas por los propios expertos mediante la simulación de casos reales.
- El motor de inferencia realiza la tarea de calcular las variables de salida, definidas en 2.2.3. y 2.2.5., a partir de las variables de entrada aplicando las reglas y la inferencia difusa, entregando conjuntos difusos de salida.
- Finalmente la respuesta se prepara, se desfusifica y se obtienen valores reales a partir de la función de pertenencia de un conjunto difuso.
- Para la simulación, observación y análisis se utiliza Matlab.

2.2.3. Definición de las variables de entrada y salida del sistema experto

El Plan Nacional de Predicción y Vigilancia de Meteorología Adversa, METEOALERTA [2], elaborado por la AEMET, establece los valores umbrales y los niveles de alerta para los FMA. El riesgo meteorológico está directamente relacionado con la “rareza” del fenómeno, cuanto mayor es ésta menos preparada está la población para enfrentarse a sus efectos. Dicho sistema se rige por un código de colores:

- VERDE: no existe riesgo meteorológico.
- AMARILLO: no existe riesgo meteorológico para la población en general, pero sí para alguna actividad concreta.
- NARANJA: existe un riesgo meteorológico importante con cierto grado de peligro para las actividades rutinarias.
- ROJO: el riesgo meteorológico es extremo con un nivel de riesgo muy alto para la población.

METEOALERTA [2] divide a CANARIAS en 17 zonas de predicción meteorológica. Una de las grandes zonas formada por las islas orientales con 6 zonas y la otra las islas occidentales con 11 zonas.

Kc	Experiencia en seguridad y emergencias			Experiencia específica en el problema			Sentido de la responsabilidad y proactividad			Capacidad de análisis y de trabajo en equipo			Criterios propios, sentido común e intuición			Preparación general			Ka	K
	Alto	Med	Bajo	Alto	Med	Bajo	Alto	Med	Bajo	Alto	Med	Bajo	Alto	Med	Bajo	Alto	Med	Bajo		
	0,40	0,32	0,20	0,20	0,16	0,10	0,20	0,16	0,10	0,05	0,04	0,025	0,05	0,04	0,025	0,10	0,08	0,05		
0,90	0,40			0,20			0,20			0,05			0,05			0,10			1,00	0,95
0,70		0,32			0,16			0,16		0,05				0,04			0,08		0,81	0,75
0,90	0,40			0,20			0,20			0,05				0,04		0,10			0,99	0,94
0,70		0,32			0,16			0,16		0,05			0,05				0,08		0,82	0,76
0,70		0,32			0,16			0,16			0,04			0,04			0,08		0,80	0,75
0,80		0,32			0,16		0,20			0,05			0,05				0,08		0,86	0,83
0,90	0,40			0,20				0,16		0,05			0,05			0,10			0,96	0,93

Tabla 1: Cálculo “Coeficiente de Competencia Experta”

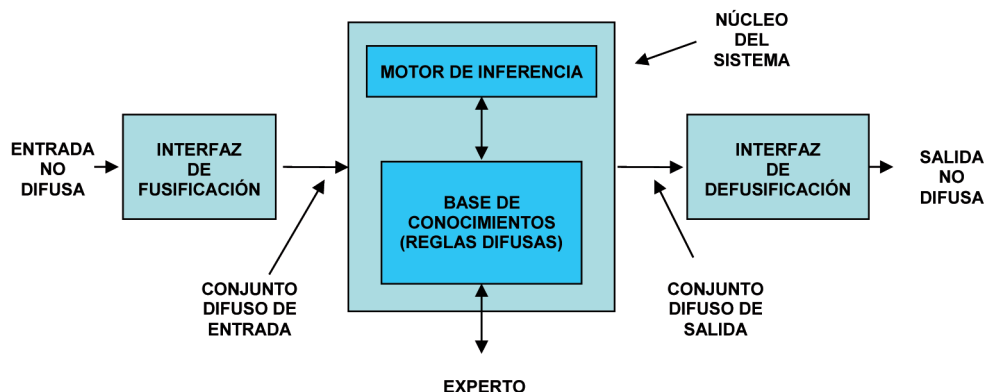


Fig. 1: "Sistema Experto Genérico" basado en un motor de inferencia en Lógica Difusa

El valor umbral para un FMA indica la intensidad mínima a partir de la cual es capaz de producir daños personales o materiales.

Por ejemplo, para una precipitación acumulada prevista en 12 horas de 120 mm en una zona geográfica determinada (supera el umbral del naranja que es de 100 mm), la AEMET genera un aviso naranja. Para el caso que nos ocupa se trabaja solo con lluvias y con la precipitación acumulada, ya que el planteamiento es similar para precipitaciones previstas en 1 hora (intensidad), vientos, etc.

Resumiendo:

1. El aviso por FMA (código de colores) es responsabilidad de la AEMET en base a METEOALERTA [2]. Competencia Estatal.
2. La información recibida en el CECOES 1-1-2 de la AEMET sirve para la declaración de prealerta, alerta o alerta máxima por parte de la DGSE en base al PEFMA [1], un plan de protección civil. Competencia autonómica.

Veamos ahora el diagrama de bloques, el cual internamente está formado por dos subsistemas en cascada (Fig. 3).



Fig. 2: Sistema Experto

Internamente:

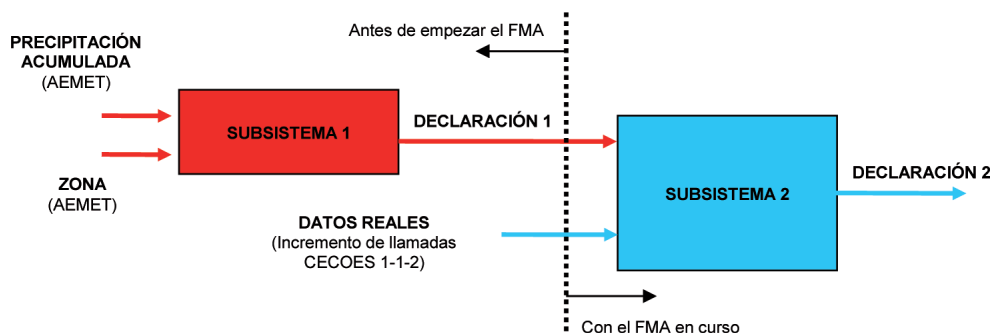


Fig. 3: Sistema Experto con los diferentes subsistemas

El sistema se comporta de la siguiente manera:

- Las variables de entrada son: PRECIPITACIÓN ACUMULADA y ZONA, proporcionadas por la AEMET; DATOS REALES, que aparecen cuando el FMA está en curso y que entran a través del CECOES 1-1-2.
- La variable de salida es DECLARACIÓN (prealerta, alerta o alerta máxima) y determina una serie de acciones a ejecutar por los servicios de seguridad y emergencias.
- En una primera fase, antes de que el FMA comience, se trabaja solo con la predicción meteorológica de la AEMET y en base a ella se realiza la DECLARACIÓN. Recordar que la Lógica Difusa es eficaz cuando se trabaja con imprecisión o ambigüedad, datos erróneos o ausencia de estos (aún no disponemos de datos reales).
- El proceso se inicia con la recepción del primer boletín emitido de la AEMET y se ejecutará tantas veces como boletines se reciban.
- En una segunda fase, con el FMA en curso y con DATOS REALES que alimentan el sistema puede cambiar la situación (alerta a alerta máxima).

2.2.4. Rangos y valores lingüísticos de las variables de entrada

2.2.4.1. Variable de entrada PRECIPITACIÓN ACUMULADA

Tal y como se expuso en 2.1.2. AHP está basado en la obtención de pesos de importancia para criterios y subcriterios mediante la comparación por pares, basándose en la escala numérica de Saaty (del 1 al 9). A partir de ahí se generan prioridades locales y globales de las jerarquías.

Primero, se establece el modelo jerárquico:

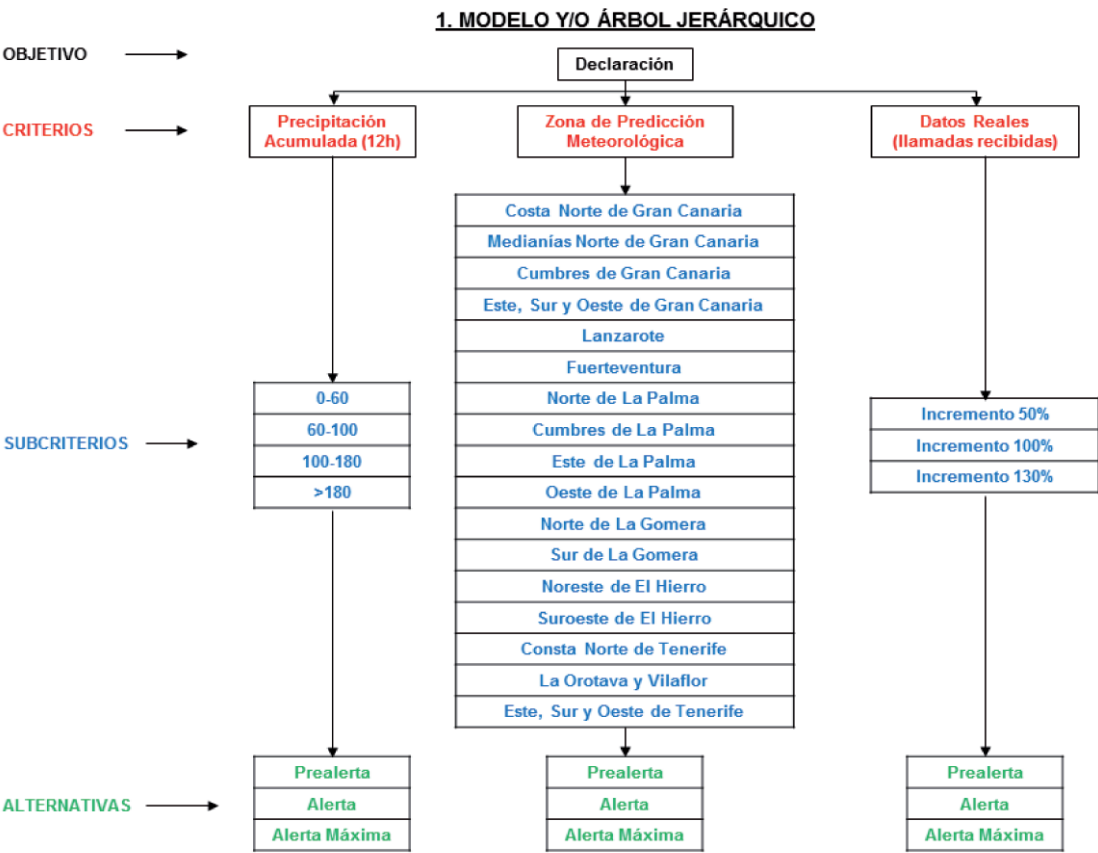


Fig. 4: Árbol jerárquico.

Segundo, se compara por pares criterios y subcriterios:

	Precipitación acumulada	Zona de predicción	Datos reales (llamadas)	Vector propio
Precipitación acumulada	1/1	3/1	1/5	0,1773
Zona de predicción	1/3	1/1	1/9	0,0694
Datos reales (llamadas)	5/1	9/1	1/1	0,7533
Ratio de consistencia (CR)	2,8151%	< 5%		1,0000

Tabla 2: Matriz de comparación por pares entre criterios (experto 1)

De la matriz anterior se puede concluir:

- Los juicios de valor del experto 1 son consistentes. El CR es 2,8151% que es menor del 5%, máximo permitido para una matriz de rango 3.
- El peso de los datos reales es un 75,33%, frente al 17,73% de la precipitación acumulada y del 6,94% de la zona de predicción.
- Como cada experto tiene una opinión diferente, la agregación de los juicios se realiza con la media geométrica de los vectores propios generados por cada uno.

Tercero, se repiten los cálculos para los diferentes subcriterios que cuelgan de cada uno de los criterios (Fig.4). Cuarto, se obtienen las prioridades locales y globales. Mostramos las del criterio precipitación:

	1ª JERARQUÍA (variables primarias)		2ª JERARQUÍA (prioridades locales)	Prioridades globales
PRECIPITACIÓN	0,1773	0-60	0,0531	0,0094
		60-100	0,1148	0,0204
		100-180	0,2651	0,0470
		>180	0,5670	0,1005

Tabla 3: Variable de entrada PRECIPITACIÓN ACUMULADA

El peso del 17,73% se obtiene de la comparación por pares de los diferentes criterios (ver Tabla 2). Los pesos de la 2ª jerarquía de la comparación de los subcriterios y las prioridades globales de la multiplicación del hijo (prioridades locales) por el padre (variables primarias).

Según el conocimiento de los expertos, determinadas zonas de predicción meteorológica tienen más riesgo que otras ante idénticas precipitaciones y las dos grandes zonas se comportan de diferente manera.

Además, desde el punto de vista de Protección Civil, no es lo mismo una precipitación acumulada de 100 litros sobre un terreno determinado que esa precipitación se dé sobre ese mismo terreno con posterioridad a un incendio de grandes dimensiones. El conocimiento cambia y evoluciona y el sistema propuesto permite la actualización.

Para METEOALERTA [2] las dos grandes zonas se comportan de igual forma desde el punto de vista de los rangos de precipitación observados. Por lo tanto, se detecta una diferencia entre el Plan Nacional y la opinión de los expertos.

Para llegar a un mayor grado de detalle, y poder observar si las diferencias observadas tienen un grado de consistencia significativo, se realiza una división de los rangos de precipitación relacionados en METEOALERTA [2] y se vuelve a repetir todo el proceso con los nuevos rangos.

Una división poco adecuada puede hacernos perder información y una excesiva puede provocar el aumento de complejidad en la descripción del dominio. Por lo tanto, cada rango se divide en dos, teniendo en consideración al Plan Nacional y a la opinión de los expertos.

Con respecto a la Lógica Difusa, se debe recordar el concepto de granularidad de la incertidumbre (ver 2.1.3).

Con la nueva división se obtienen los siguientes datos:

	1ª JERARQUÍA (variables primarias)		2ª JERARQUÍA (prioridades locales)	Prioridades globales
PRECIPITACIÓN	0,1773	40-60	0,0404	0,0072
		60-80	0,0625	0,0111
		80-100	0,0993	0,0176
		100-120	0,1594	0,0283
		120-180	0,2511	0,0445
		>180	0,3874	0,0687

Tabla 4: Variable de entrada PRECIPITACIÓN ACUMULADA con una división adecuada

	Prioridades globales	ZONA 1 ISLAS ORIENTALES	ZONA 2 ISLAS OCCIDENTALES
40-60	0,0072	0,0003	0,0002
60-80	0,0111	0,0005	0,0003
80-100	0,0176	0,0008	0,0004
100-120	0,0283	0,0013	0,0007
120-180	0,0445	0,0021	0,0010
>180	0,0687	0,0032	0,0016

Tabla 5: Comparación de PRECIPITACIÓN ACUMULADA con ZONA

Cuando se compara precipitaciones con zona para obtener las ponderaciones correspondientes, se observan diferencias más evidentes. Para un mismo rango de precipitación, las diferencias entre las dos grandes zonas son observables, lo que evidencia la necesidad de cambio de los diferentes umbrales de METEOALERTA y PEFMA. Anteriormente a este trabajo, las dos zonas se trataban de igual manera y aunque nunca se había realizado un estudio similar se consideraba que los valores de las dos columnas (zona) eran exactamente iguales.

A simple vista y teniendo en cuenta la opinión de los expertos se proponen unos nuevos umbrales:

VERDE	0	<0,0003
AMARILLO	=0,0003	<0,0007
NARANJA	=0,0007	<0,0016
ROJO	>=0,0016	

Tabla 6: Nuevos umbrales

Estos nuevos umbrales implican cambiar el Plan Nacional, METEOALERTA y el Plan Autonómico, PEFMA.

Una vez aplicado AHP se pasa al proceso de fusificación [11], para ello convertimos los valores reales en valores difusos. En el sistema se emplean las prioridades globales como valores centrales de las funciones de pertenencia, ya que son las que representan el peso de la variable con respecto a toda la jerarquía.

A medida que la precipitación acumulada va aumentando, el grado de pertenencia a una función, por ejemplo MAA, irá

VARIABLE DE ENTRADA: PRECIPITACIÓN ACUMULADA (en 12 horas)			
RANGO	FUNCIÓN DE PERTENENCIA	VALOR LINGÜÍSTICO	OBSERVACIONES
40 - 60	(-10, -10, 0.72, 0.89)	P	Poca precipitación
60 - 80	(0.79, 1.11, 1.49)	M	Media precipitación
80 - 100	(1.32, 1.76, 2.30)	MA	Media alta precipitación
100 - 120	(2.01, 2.83, 3.83)	A	Alta precipitación
120 - 180	(3.45, 4.45, 5.48)	MAA	Muy alta precipitación
> 180	(5.01, 6.87, 10, 10)	ALT	Altísima precipitación

Tabla 7: Rangos y valores lingüísticos de la variable de entrada PRECIPITACIÓN ACUMULADA

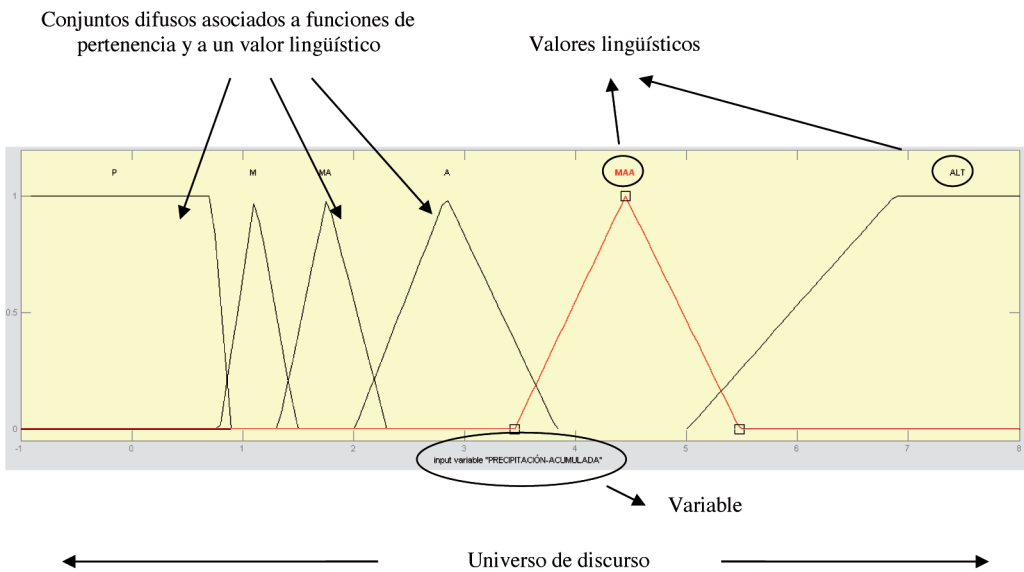


Fig. 5: Variable de entrada, PRECIPITACIÓN ACUMULADA, con los conjuntos difusos asociados (MATLAB)

disminuyendo y aumentando el grado de pertenencia a ALT, proporcionando una transición gradual de estados.

2.2.4.2. Variable de entrada ZONA

Si se aplica el mismo procedimiento para la variable ZONA se obtiene la siguiente tabla:

	1ª JERARQUÍA (variables primarias)		2ª JERARQUÍA (prioridades locales)	Prioridades globales	FUNCIÓN DE PERTENENCIA
ZONA	0,0694	Las Palmas	0,6667	0,0462	(3.32, 4.62, 10, 10)
		S/C de Tenerife	0,3333	0,0231	(-10 ,-10, 2.31, 3.81)

Tabla 8: Variable ZONA

2.2.4.3. Variable de entrada LLAMADAS

Con el FMA en curso, comienzan a aparecer DATOS REALES. Estos nuevos datos empiezan a alimentar el sistema y pueden ocasionar un cambio de situación (alerta a alerta máxima). La entrada en juego de esta variable, con un peso del 75.33% sobre el resto de las variables primarias (ZONA y

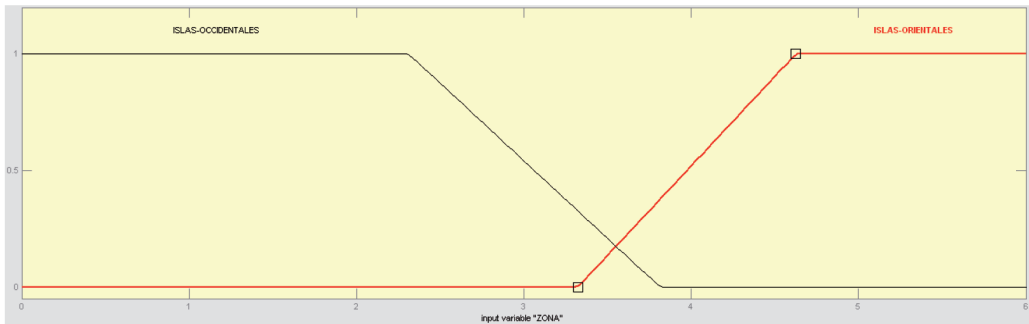


Fig. 6: Variable ZONA, con los conjuntos difusos asociados (MATLAB)

PRECIPITACIÓN), es determinante para un cambio de situación, en su salida, del sistema.

2. Del 15 al 18 de diciembre de 2009: FMA lluvia y vientos. Los modelos, el actual y el propuesto, se comparan con

	1ª JERARQUÍA (variables primarias)		2ª JERARQUÍA (prioridades locales)	Prioridades globales	FUNCIÓN DE PERTENENCIA
LLAMADAS	0,7533	Incremento 0-50%	0,0618	0,0466	(-10 -10 4.66 15)
		Incremento 50-100%	0,2648	0,1995	(10 19.95 34 45)
		Incremento >100%	0,6734	0,5073	(40, 50, 70, 70)

Tabla 9: Variable de entrada LLAMADAS

2.2.5. Rangos y valores lingüísticos de la variable de salida DECLARACIÓN

La variable de salida determina una serie de acciones a tomar que vienen recogidas en el PEFMA [1]. Las funciones de pertenencia se deducen de la tabla 6.

la realidad ocurrida con dos estadísticos: el error cuadrático medio normalizado (ECMN) y el sesgo fraccional (SF), utilizados por Talavera y otros [14].

También se utiliza el “Test de Wilcoxon” para comparar los modelos.

FUNCIÓN DE PERTENENCIA	VALOR LINGÜÍSTICO	TAREAS A REALIZAR POR LOS SERVICIOS DE EMERGENCIAS
(-2, -2 0.03, 0.04)	NADA	Ninguna
(0.03, 0.05, 0.07)	PREALERTA	Se declara prealerta funciones según PEFMA
(0.06, 0.11, 0.16)	ALERTA	Se declara alerta funciones según PEFMA
(0.15, 0.16, 2, 2)	ALERTA MÁXIMA	Se declara alerta máxima funciones según PEFMA

Tabla 10. Declaraciones según rango de la variable de salida

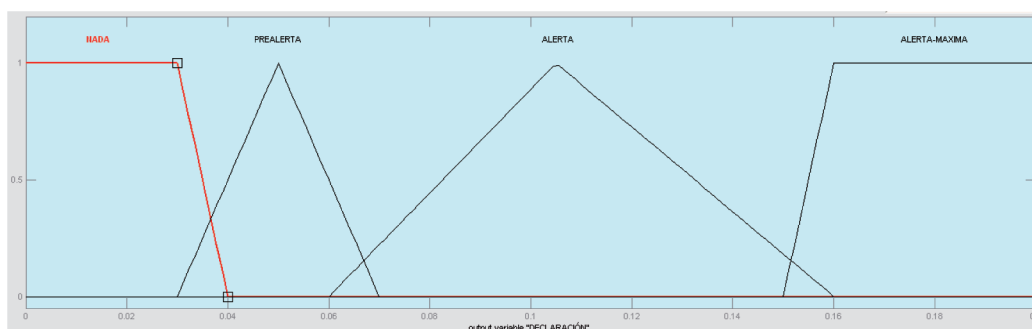


Fig. 7: Variable de salida, DECLARACIÓN, con los conjuntos difusos asociados (MATLAB)

Antes, en una declaración de alerta no existían diferencias, es decir, todas eran iguales en la teoría. En la realidad algunas pasaban desapercibidas y otras eran demasiado virulentas y con consecuencias catastróficas. Se reforzaba el personal del CECOES 1-1-2 en todos los casos y se tomaban todas las medidas necesarias, lo que implicaba un gasto innecesario.

Ahora, apoyándonos en la Fig. 7, una alerta con un mayor grado de pertenencia al conjunto no determina las mismas acciones que una con un menor grado de pertenencia. Por ejemplo, en las alertas con grados de pertenencia pequeños ya no se refuerza el CECOES 1-1-2, antes sí.

Lo anterior permite que el CECOES 1-1-2 se adapte y ajuste mejor a las diferentes situaciones meteorológicas.

2.2.6. Validación del sistema

Se seleccionan dos escenarios de FMA y se buscan datos de diferentes fuentes (AEMET, DGSE, CECOES 1-1-2, etc.):

1. Del 31 de enero al 2 de febrero de 2010: FMA lluvia.

2.2.6.1. ECMN y SF

Se utilizan los valores de salida de ambos modelos para compararlos con la realidad ocurrida (observado).

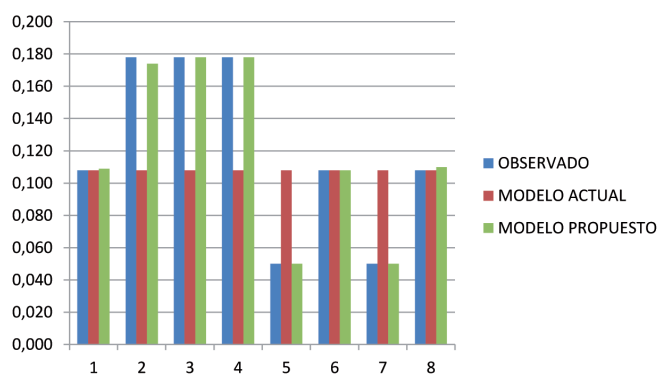


Fig. 8: Valores de salidas de ambos modelos (DECLARACIÓN) y valores observados para los escenarios de FMA

Con el ECMN se mide la precisión del modelo propuesto frente al actual.

Con el SF se observa la tendencia del modelo a sobreestimar o subestimar.

Dados n valores observados (X_0) y los correspondiente previstos (X_p) tenemos:

$$ECMN = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{(X_0 - X_p)^2}{X_0 X_p}$$

$$SF = \frac{2}{n} \sum_{i=1}^n \frac{(X_0 - X_p)}{(X_0 + X_p)}$$

ECMN		SF	
Modelo actual	Modelo propuesto	Modelo actual	Modelo propuesto
0,25132	0,00012	0,00002	-0,00060

Tabla 11: Valores ECMN y SF para el modelo actual y el propuesto

Cuanto menor es el ECMN el modelo es más preciso, ya que se acerca más a la realidad ocurrida. Si el ECMN aumenta, la imprecisión del modelo aumenta.

Se concluye que el modelo propuesto es más preciso y se asemeja más a la realidad ocurrida que el modelo actual.

Los valores negativos de SF proporcionan información sobre la tendencia del modelo a sobreestimar, mientras que los valores positivos indican la tendencia a subestimar. Los valores que se obtienen no son significativos.

2.2.6.2. Test de Wilcoxon

Se aplica *Wilcoxon* para comparar los datos obtenidos de los modelos actual y propuesto con los datos de la realidad ocurrida.

Se establece la hipótesis nula (H_0):

Si las diferencias proceden de una distribución simétrica en torno a cero los valores de W^+ y W^- son similares o cuanto más próximos son los valores de W^+ y W^- el modelo comparado se acerca más a la realidad ocurrida.

Comenzamos con el modelo actual:

Tenemos n pares denominados (X_i, Y_i). Para verificar la hipótesis nula primero se calculan las diferencias y se eliminan las nulas. Se ordenan las diferencias en valores absolutos

$|Z_1|, \dots, |Z_n|$ y se asigna un rango R_i . Si alguno de los valores se repite se calcula el rango medio.

Ahora sumamos:

- Los rangos de las diferencias positivas o la suma de los rangos correspondientes a los valores positivos de Z_i .

$$W^+ = \sum_{Z_i > 0}^{Z_n} R_i = 1,5 + 1,5 = 3$$

- Los rangos de las diferencias negativas o la suma de los rangos correspondientes a los valores negativos de Z_i .

$$W^- = \sum_{Z_i < 0}^{Z_n} R_i = 4 + 4 + 4 = 12$$

Dado que los valores de W^+ y W^- no son similares se rechaza la hipótesis nula o no se puede asegurar que el modelo actual se comporte igual o similar a la realidad ocurrida.

Ahora el modelo propuesto:

- Los rangos de las diferencias positivas:

$$W^+ = \sum_{Z_i > 0}^{Z_n} R_i = 1 + 2 = 3$$

- Los rangos de las diferencias negativas:

$$W^- = \sum_{Z_i < 0}^{Z_n} R_i = 3$$

Como los valores de W^+ y W^- son iguales, se acepta la hipótesis nula o que el modelo actual se comporta igual o similar a la realidad ocurrida.

3. RESULTADOS

Los resultados originan la propuesta oficial de modificación de:

- 1. Los umbrales de METEOALERTA [2] y PEFMA [1], ya modificados y publicados.
- 2. Las zonas de predicción meteorológica para Canarias (pasan de 17 zonas a 12) de METEOALERTA [2] y PEFMA [1], ya modificadas y publicadas. Se observa que para el conjunto de expertos consultados, determinadas zonas de predicción meteorológica tienen el mismo peso

MODELO ACTUAL (X_i)	OBSERVADO (Y_i)	DIFERENCIAS (Z_i)		DIFERENCIAS (ordenadas por $ Z_i $)	Orden/Rango R_i	Corregimos valores repetidos
0,108	0,108	Z_1	0,000	$ Z_1 $	0,000	-
0,108	0,178	Z_2	-0,070	$ Z_6 $	0,000	-
0,108	0,178	Z_3	-0,070	$ Z_8 $	0,000	-
0,108	0,178	Z_4	-0,070	$ Z_5 $	0,058	1,500
0,108	0,050	Z_5	0,058	$ Z_7 $	0,058	1,500
0,108	0,108	Z_6	0,000	$ Z_2 $	0,070	4,000
0,108	0,050	Z_7	0,058	$ Z_3 $	0,070	4,000
0,108	0,108	Z_8	0,000	$ Z_4 $	0,070	4,000

Tabla 12: Valores Wilcoxon

Gran Canaria	0,6000	0,0277	Costa Norte de Gran Canaria	0,3716	0,0103
			Medianías Norte de Gran Canaria	0,3716	0,0103
			Cumbres de Gran Canaria	0,0917	0,0025
			Este, Sur y Oeste de Gran Canaria	0,1651	0,0046
Tenerife	0,4954	0,0115	Consta Norte de Tenerife	0,2000	0,0023
			La Orotava y Vilaflor	0,2000	0,0023
			Este, Sur y Oeste de Tenerife	0,6000	0,0069

Tabla 13: Zona con ponderaciones tras aplicar AHP (Gran Canaria y Tenerife)

o influyen de igual manera. Por ejemplo, «Costa Norte de Gran Canaria» y «Medianías Norte de Gran Canaria» tienen el mismo peso para el conjunto de expertos al aplicar AHP, por lo que se propone la unificación de determinadas zonas en una sola lo que simplifica el sistema.

Además:

- Se automatiza todo el proceso que se realiza manualmente y el experto solo confirma.
- Se mejora la toma de decisiones en cuanto a las declaraciones de prealerta, alerta y alerta máxima (ver 2.2.6.).

4. DISCUSIÓN

Lo novedoso es que se mejora el modelo actual siendo dicha mejora exportable y aplicable, parcial o totalmente, a

cualquier comunidad autónoma. Se combina la predicción meteorológica de la AEMET, conocimiento de expertos locales, METEOALERTA y Planes de Protección Civil, destinados a proteger la vida y bienes de las personas en un entorno de incertidumbre, imprecisión, ambigüedad y datos erróneos o ausencia de estos.

Se combina Lógica Difusa con AHP y obtenemos una respuesta precisa ante emergencias del tipo FMA.

Se modifica la tradicional metodología AHP Fuzzy [11] para simplificar cálculos con los conjuntos difusos. Primero aplicamos AHP y obtenemos el conocimiento y después fusionamos ese conocimiento para utilizarlo en el sistema experto basado en Lógica Difusa.

AHP se desarrolla para obtener prioridades de criterios y subcriterios y con la Lógica Difusa obtenemos la alternativa ideal.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Gobierno de Canarias. "Plan Específico de Protección Civil y Atención de Emergencias de la Comunidad Autónoma de Canarias por riesgos de Fenómenos Meteorológicos Adversos, PEFMA". Aprobado diciembre 2006 y abril 2014 (Decreto 18/2014, de 20 de marzo).
- [2] Gobierno de España. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Agencia Estatal de Meteorología. "Plan Nacional de Predicción y Vigilancia de Fenómenos Meteorológicos Adversos, METEOALERTA". Aprobado noviembre 2009 y julio de 2013.
- [3] Saaty TL. *The analytic hierarchy process: planning, priority setting, resource allocation*. 2ª edición. New York : McGraw-Hill, 1988. 287 p. ISBN 0070543712 9780070543713.
- [4] Saaty TL. *Fundamentals of Decision Making and Priority Theory with the Analytic Hierarchy Process*. 2ª edición. Pittsburgh: RWS Publications, 2000. 478 p. ISBN 1888603151, 9781888603156.
- [5] Calvo-Rolle JL, Casteleiro-Roca JL, Vilar-Martínez XM et al. *EXPERT SYSTEM DEVELOPMENT TO ASSIST ON THE VERIFICATION OF "TACAN" SYSTEM PERFORMANCE*. DYNA. Enero 2014. Vol.89, N°1, p.112-121. DOI: <http://dx.doi.org/10.6036/5756>,
- [6] García-Fernández N, Puente J, Fernández I et al. "HOW TO IMPROVE THE SUPPLIERS EVALUATION PROCESS USING FUZZY INFERENCE SYSTEMS". DYNA. Julio 2014. Vol.89, N°4, p.449-456. DOI: <http://dx.doi.org/10.6036/6992>.
- [7] Zadeh LA. *Fuzzy sets and their applications to cognitive and decision processes*. New York: Academic Press, 1975. 496 p. ISBN 0127752609 9780127752600.
- [8] Zadeh LA. "Fuzzy sets". *Information and Control*. 1965. Vol.8 p.338-353. DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/S0019-9958\(65\)90241-X](http://dx.doi.org/10.1016/S0019-9958(65)90241-X).
- [9] Klir GJ, Yuan B. *Fuzzy Sets and Fuzzy Logic. Theory and Applications*. 1ª edición. New Jersey: Prentice Hall PTR, 1995. 574 p. ISBN 0131011715 9780131011717.
- [10] Bonissone P P, Decker K S. *Selecting Uncertainty Calculi and Granularity: An Experiment in Trading-Off Precision and Complexity*. En: Kanal LN, Lemmer JF. *Uncertainty in Artificial Intelligence*. North-Holland: Elsevier Science Pub. Co., 1986. p. 217-247. ISBN 9780444700582 0444700587.
- [11] Jie Lu, Guangquan Zhang, Da Ruan, Fengjie Wu. *Multi-Objective Group Decision Making. Methods, Software and Applications with Fuzzy Set Techniques*. 1ª edición. London: Imperial College Press, 2007. 408 p. ISBN-13 978-1-86094-793-3. ISBN-10 1-86094-793-X.
- [12] García L, Fernández S. "Procedimiento de aplicación del trabajo creativo en grupo de expertos". *Ingeniería Energética*. 2008. Vol.XXIX N°2 p.46-50.
- [13] Cabero-Almenara J, Barrosos-Osuna J. "La Utilización del Juicio de Experto para la Evaluación de TIC: el Coeficiente de Competencia Experta". Bordón. 2013. Vol.65 N°2 p.25-38.
- [14] Talavera-Ortiz A, Aguiasca-Colomo R, Galván-González B. "APPLICATION OF FUZZY LOGIC TO ESTIMATE THE INTENSITY OF THERMAL RADIATION IN HYDROCARBON FIRES". DYNA. Mayo 2012. Vol.87, N°3, p.295-304. DOI: <http://dx.doi.org/10.6036/4497>.
- [15] Wilcoxon F. "Individual Comparisons by Ranking Methods". *Biometrics Bulletin*. Diciembre 1945. Vol.1, N°6, p.80-83. Disponible en Web: <http://sci2s.ugr.es/keel/pdf/algorithm/articulo/wilcoxon1945.pdf> [Consulta: 2014].