

SISTEMA EXPERTO DIFUSO PARA EL DIAGNOSTICO MEDICO DE INTOXICACIONES POR AGROQUÍMICOS

Wilber Torres B.*
Ivonne Vázquez E.**

La lógica difusa se ha venido incorporando, de una manera creciente, al diseño e implementación de sistemas expertos, debido principalmente a que facilita enormemente el manejo de la incertidumbre inherente a este tipo de sistemas. Esto es especialmente cierto en el caso de sistemas expertos para diagnóstico médico, en los cuales la incertidumbre es más la regla que la excepción. Podemos palpar esta incertidumbre en hechos cotidianos a los cuales debe enfrentarse un profesional en medicina, tales como hacer diagnóstico diferencial ante signos y síntomas similares, o la emisión de un diagnóstico cuando hay vacíos de información, o cuando existen eventos futuros importantes para la certeza de este diagnóstico. Se pretende brindar una guía general de diseño de un sistema experto basado en reglas, incorporando la lógica difusa, para el diagnóstico médico en intoxicaciones por agroquímicos.

INTRODUCCION

La característica principal de un sistema inteligente debe estar fundamentada en su habilidad de tomar decisiones, lo más cercanas posible, a la forma en que lo realizan los humanos.

El conocimiento humano es inherentemente difuso en lugar de discreto o preciso, y por esta razón la mayoría del conocimiento humano representado en un sistema experto, debe ser expresado a través de conceptos difusos, en lugar de los conceptos numéricos o discretos tradicionales.

Esto es aún más cierto en el campo de la medicina, en donde las comunicaciones médico-paciente están inmersas en un dominio de términos difusos a través de los cuales el paciente expresa sus síntomas y el médico los interpreta.

El grado de certeza en la interpretación que haga el médico de los síntomas del paciente y de su estado físico, inciden directamente en la calidad del diagnóstico médico. Se requiere del juicio experto para realizar una valoración correcta del paciente y emitir un diagnóstico médico adecuado.

Los sistemas expertos en el área de medicina deben ser capaces de manejar la incertidumbre inherente a este campo, capturando con el mayor rigor posible la semántica de la comunicación médico-paciente, ya que la mayoría de la información que va a ser almacenada en la base de conocimiento puede ser imprecisa, incompleta o vaga.

La lógica difusa ofrece un marco sistemático para enfrentar diferentes tipos de incertidumbre dentro de un mismo marco conceptual, lo cual es especialmente importante en la administración de incertidumbre en sistemas expertos en el área médica.

Este trabajo pretende brindar una guía para la aplicación de la lógica difusa en el

* Médico general, Instituto Nacional de Seguros.

** Vicerrectoría de Investigación, Instituto Tecnológico de Costa Rica.

diseño e implementación de un sistema experto basado en reglas, que apoye el diagnóstico médico en casos de intoxicaciones por agroquímicos.

IMPORTANCIA

Los plaguicidas son sustancias muy utilizadas en Costa Rica para la agricultura, principalmente en las zonas bananeras. Para este trabajo se escogieron dos tipos de sustancias de gran uso y de diagnóstico similar, que son los plaguicidas organofosforados y los organoclorados.

Los plaguicidas organofosforados (como el Malathion) son sustancias que afectan la comunicación entre neuronas, inactivando la acetilcolinesterasa. Esta enzima se dedica a desactivar la acetilcolina, que es una de las sustancias encargadas de transmitir el impulso nervioso. De esta manera, el tóxico perpetúa el efecto de la acetilcolina, produciendo parálisis de músculos respiratorios y —de no darse tratamiento—, produciendo la muerte por paro respiratorio.

Los insecticidas organoclorados (como el DDT) interfieren con el flujo de cationes de las células nerviosas, aumentando la irritabilidad de las neuronas, de ahí sus efectos neurotóxicos que pueden llegar a producir la muerte por convulsiones repetidas (status epilepticus). Sus mayores efectos negativos son los crónicos.

La intoxicación por agroquímicos tiene factores muy importantes para su pronóstico tales como¹²:

- Dosis y toxicidad aguda de plaguicida
- Vía de absorción
- Adecuados primeros auxilios
- Prontitud del diagnóstico correcto
- Disponibilidad de antidotos
- Rapidez de acceso a centros de atención
- Calidad de asistencia médica.

Los agroquímicos organofosforados constituyen una emergencia médica con alta mortalidad y cuyos efectos residuales más importantes se muestran en el Cuadro 1.

También, los agroquímicos organoclorados tienen efectos negativos potenciales tales como los que se pueden apreciar en el Cuadro 2.

APLICACION DE LA LOGICA DIFUSA EN UN SISTEMA EXPERTO PARA EL DIAGNOSTICO MEDICO

La aplicación de la lógica difusa en ambientes de incertidumbre e imprecisión es efectiva cuando las soluciones no necesitan ser precisas o cuando es aceptable que la conclusión tenga validez no decisiva en vez de categórica. En el área médica, la mayoría de las situaciones se ajustan a esas características.

La incertidumbre posibilística y su cálculo ha probado ser una herramienta muy útil en situaciones donde la información utilizada para generar la distribución es lingüística o cuando no es suficientemente fuerte para apoyar una estructura probabilística.

La principal razón para usar teoría de conjuntos difusos en sistemas expertos, es que la mayoría de la información que contiene la base de conocimiento es incierta por naturaleza, la incertidumbre es un concepto multifacético que está relacionado con la noción de imprecisión, aleatoriedad, vaguedad, incompletitud, inconfiabilidad y difusividad.

CUADRO 1. Efectos Residuales de intoxicaciones por agroquímicos organofosforados

Sistema Nervioso Periférico:	Neuropatía retardada.
Sistema Nervioso Central:	Cefalea, falta de coordinación, insomnio, cambios electro-encefalográficos, trastornos psicológicos y visuales.

CUADRO 2. Efectos residuales de intoxicaciones por agroquímicos organoclorados

AGUDOS:

- Daño Cerebral debido a convulsiones e hipoxia prolongada.

CRONICOS:

- Anorexia, adelgazamiento, polineuritis, alteraciones hepáticas, trastorno del ritmo cardíaco, conjuntivitis alérgica, blefaritis, angiopatía de retina.
- Carcinógeno en hígado, pulmones y tiroides en animales de laboratorio.

DDT : Efecto blastogénico.

LINDANO : Aberraciones cromosómicas en leucocitos.

MIREX : Teratógeno potencial en animales

Una ventaja importante de la teoría de conjuntos difusos es que ofrece un marco conceptual lógico para la administración de la incertidumbre y hace posible el manejo uniforme de la representación de cualquier inferencia en inteligencia artificial y sistemas expertos.

El uso de conjuntos y lógica difusa ofrece un método de manejo viable de la incertidumbre. En un sistema experto convencional, si la entrada no calza perfectamente con la situación descrita en las reglas, se produce una salida abrupta y no se toma ninguna acción. Pero si hubiese sido escrita una regla para cada situación posible, el sistema tendría que examinar demasiado para actuar rápidamente. Usando lógica difusa, el sistema experto acepta datos vagos, los compara con todas las reglas en su memoria simultáneamente y asigna a cada regla un peso. Los pesos más altos se dan a las reglas que mejor calzan con los datos. La decisión se basa en las recomendaciones combinadas de estas reglas.

Muchas aplicaciones de teoría de conjuntos difusos están todavía en una etapa temprana de desarrollo; parece probable que en las próximas décadas la

lógica difusa se convertirá en una herramienta de aplicación rutinaria en muchas áreas de inteligencia artificial, sobre todo en aquellas que involucran comunicaciones con gente o procesos de imitación de su manera de pensar. Esto puede ayudar a solventar el vacío que existe entre el pensamiento analógico y flexible de los humanos y el marco rígido de las aplicaciones computacionales actuales.

La mayoría de las herramientas comerciales actuales para la construcción de sistemas expertos usan factores de certidumbre o confianza para manejar la incertidumbre en la base de conocimiento, pero no son capaces de manejar conceptos difusos tales como "normal", "pálida", "terrosa" o "cianótica", que son parte muy importante del diagnóstico médico, en el caso de intoxicaciones.

Los sistemas expertos en el área médica deben ser capaces de manejar información difusa o inexacta, pues la mayoría de los síntomas se expresan e interpretan en forma vaga o imprecisa. En un sistema experto para el diagnóstico médico, los tipos de conocimiento inexacto pueden ser clasificados de la siguiente manera:

1. La *incertidumbre* ocurre cuando no se está absolutamente seguro de la veracidad de una parte de información. El grado de certidumbre (CF) se representa usualmente por medio de un valor numérico.

Ejemplo:

X está cianótico (azulado) CF: 0,7

SI X está cianótico,

ENTONCES

le falta oxígeno. CF: (0,95)

2. La *difusividad* ocurre cuando no están claramente definidas las fronteras de una parte de información:

Ejemplo:

Si vómito es mucho

ENTONCES

muy probablemente hay
deshidratación.

“Mucho” y “muy probablemente” son
términos difusos.

3. La incertidumbre y la difusividad pueden
ocurrir simultáneamente en algunas
situaciones.

Ejemplo:

El paciente está considerablemente
febril. CF: (0,8)

Si la fiebre es alta

ENTONCES

hay muchas posibilidades de infec-
ción. CF: (0,9).

Los factores de certidumbre son 0,8 y
0,9; “considerablemente febril”, “alta” y
“muchas posibilidades” son términos
difusos.

4. En algunos casos la incertidumbre
puede ser también difusa²¹. Los valores
pueden ser expresados como probabili-
dades lingüísticas o como
cuantificadores difusos, como cuando
se emplea “probablemente”, “muy
improbablemente”, “casi cierto”, “fre-
cuentemente”, “la mayoría del tiempo”,
“alrededor”, entre otros.

Ejemplo:

El paciente tiene sobrepeso. FCF: (al-
rededor de 0,7)

Aquí “alrededor de 0,7” es la incertidum-
bre difusa, y “sobrepeso” es un término
difuso.

Se puede utilizar la lógica difusa en los
sistemas expertos de diagnóstico médico
para manejar conceptos difusos y razona-
miento aproximado. Por ejemplo, el término
difuso “febril” se puede definir a través del
conjunto difuso mostrado en el Cuadro 3, y
representado gráficamente en la Figura 1.

Los valores de posibilidad mostrados en
este cuadro constituyen una distribución de
posibilidad del término FEBRIL. Los
modificadores tales como “poco”, “alrede-
dor”, “muy” son comunes en el razonamien-
to aproximado.

VARIABLES LINGÜÍSTICAS Y VALORES DIFUSOS DE SINTOMAS Y SIGNOS

Se han identificado los componentes
generales del sistema, los cuales se
muestran en el Cuadro 4, desglosados de
acuerdo con su carácter difuso y no-difuso.
Para los elementos difusos del sistema, se
mencionan las variables lingüísticas
correspondientes, y sus posibles valores,
los cuales tienen una función de pertenen-
cia (μ) asociada con valores entre [0, 1].

Las variables lingüísticas utilizadas en
un sistema experto para el diagnóstico
médico de intoxicaciones con
agroquímicos son mayormente difusas.

La utilización de la lógica difusa en
este tipo de sistemas facilita la evaluación y
la interpretación de los hechos y de las
reglas almacenadas en la base de
conocimiento.

ARQUITECTURA DE UN SISTEMA EXPERTO DIFUSO PARA EL DIAGNOSTICO MEDICO

La mayoría de los sistemas expertos e
inteligentes consisten de una base de
conocimiento y un motor de inferencia que
desarrollan una interpretación, razona-
miento y análisis de alto nivel de la informa-

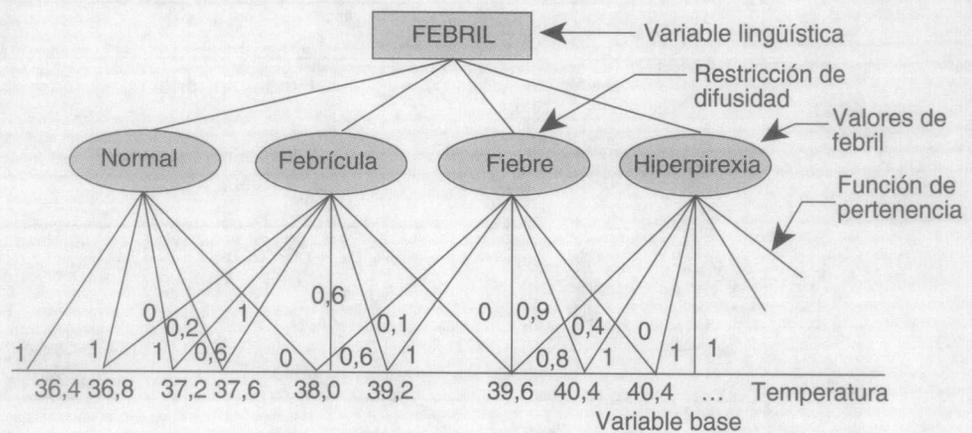
CUADRO 3. Conjunto difuso del término FEBRIL

Valores de FEBRIL	Valores de la variable base (Temperatura)	Grado de pertenencia (Valor de posibilidad)
Normal	36,4	1,0
	36,8	1,0
	37,2	1,0
	37,6	0,6
	38,0	0,0
Febrícula (poco febril)	36,8	0,0
	37,2	0,2
	37,6	1,0
	38,0	0,6
	39,2	0,1
Fiebre	38,0	0,6
	39,2	1,0
	39,6	0,9
	40,0	0,4
	40,4	0,0
Hiperpirexia (muy febril)	39,6	0,8
	40,0	1,0
	40,4	1,0

ción. La base de conocimiento usualmente comprende un conjunto de hechos y un conjunto de reglas, los hechos están en la forma de estatutos proposicionales expresados como valores de atributos como conjuntos y clases de objetos. La principal tarea de estos sistemas es tomar decisiones inteligentes a través de la inferencia y

extraer conclusiones a partir de los hechos básicos disponibles, relativamente pocos, para este fin. Más aún, estos hechos pueden no ser conocidos de manera precisa, y la inferencia y las reglas de razonamiento pueden no ser aplicables con el mismo grado de confianza.

FIGURA 1. Estructura jerárquica de la variable lingüística FEBRIL.



CUADRO 4. Variables lingüísticas y valores de los elementos en un sistema experto para el diagnóstico médico de intoxicaciones con agroquímicos

Componente	Elementos	Variables Lingüísticas	Valores
Paciente	Síntomas		
	Vértigo	Cantidad	No hay Un poco Mucho
	Visión borrosa		Si hay No hay
	Vómito	Cantidad	No hay Escaso Poco Mucho Incoercible
	Diarrea	Frecuencia	No hay Poca Moderada Mucha
		Antecedente de Exposición	Si No No sabe
		Vía de absorción	Piel Oral Respiratoria No sabe
		Trast. de sensibilidad	Hipoestesias Normal Hiperestesias Parestesias
		Trast. musculares	No hay Calambres Debilidad Mialgias
	PARTE MEDICA SIGNOS		
		Presión arterial	Shock Hipotenso Normal Hipertenso Crisis/Hipertensos
		Frecuencia cardíaca	Ausencia Bradicardia Normal Taquicardia sinusal Taquicardia paroxística

Conitnúa en la siguiente página

Continuación del Cuadro 4

Componente	Elementos	Variables Lingüísticas	Valores
		Dificultad respiratoria	Normal Taquipnea Hundimiento Apnea
		Tamaño pupilas	Midriasis Normales Miosis
		Estado de conciencia	Consciente Obnubilado Estuporoso Comatoso
		Movimientos anormales	No hay Temblor Mioclonias Convulsión/T.C.
		Salivación	Disminuida Normal Aumentada leve Aumentada moderada Aumentada severa
		Sonidos pulmonares	Normales Sibilancias Estertores
		Signos musculares	Parálisis flácida Hipotonía Fasciculaciones Normal Ataxia Hipertonía Parálisis espástica
		Ritmo cardíaco	Normal Bradicardia _Bloqueos I-II-III Taquicardia _Supraventricular _Fibrilventricular Paro/cardíaco
		Color de piel	Normal Pálida Terrosa Cianótica
Estudio micro biológico	Exámenes de laboratorio	Colinesterasas	Aumentadas Normales Leve disminuidas Mod. disminuidas Sev. disminuidas
		Cromatografía de gas	Positiva Negativa

El grado de certeza en la interpretación que haga el médico de los síntomas del paciente y de su estado físico, inciden directamente en la calidad del diagnóstico médico.

La arquitectura de un sistema experto de este tipo debe cumplir con las siguientes características generales:

1. Capacidad de manejar, además de las variables difusas, las variables no difusas, así como mezclas de ellas, por cuanto existen hechos o evaluaciones que se realizan al paciente de los cuales se conoce con certeza su estado o valor.
2. Disponibilidad de una base de conocimiento difusa, como la que se muestra en el Cuadro 5, la cual debe almacenar los objetos, las reglas y los conjuntos difusos que representan términos difusos del sistema experto.
3. Capacidad de manejar grados de certidumbre difusa y no difusa. En el diagnóstico médico se dan ambas situaciones, pues en algunas ocasiones se tiene certeza de la valoración de un signo o síntoma, y en otras ocasiones esta valoración no es clara. Las incertidumbre difusa puede modelarse por medio de números difusos que representan conceptos como "cercano a 0,8", "alrededor de 0,5", etc. De la misma manera debe poder valorarse la certidumbre de la validez de una regla.
4. Capacidad de manejar términos difusos, los cuales tienen valores asociados que pueden ser expresiones difusas, como por ejemplo: "AUMENTADA LEVE", "AUMENTADA MODERADA", y "AUMENTADA SEVERA", para la variable lingüística "salivación". Estos términos difusos deben ser representados por conjuntos difusos.
5. Capacidad de manejar operadores lógicos difusos que le permitan calcular la incertidumbre difusa del objeto meta (en este caso el diagnóstico) a partir de

las incertidumbres difusas de los hechos y de las reglas.

6. Una rutina de aproximación lingüística que "traduzca" un conjunto de conjuntos difusos a un conjunto de expresiones lingüísticas o descripciones, trasladando un conjunto difuso a un lenguaje "natural". Esto por cuanto es necesario encontrar descripciones verbales o lingüísticas adecuadas para representar los valores y las incertidumbres difusas⁶.

BASE DE CONOCIMIENTO DIFUSA

La base de conocimiento difusa del sistema experto consistirá de objetos, reglas, y términos difusos, tales como los que se muestran en el Cuadro 5.

Corresponde a una tabla de inducción del sistema experto, que muestra una porción de la base de conocimiento difusa para el diagnóstico médico en intoxicaciones por agroquímicos.

Las reglas pueden ser inducidas de este cuadro si se toma cada uno de los antecedentes (condiciones IF) como los correspondientes a los campos de las filas, en todas las columnas menos la última, la cual corresponde a la conclusión o diagnóstico obtenido (parte THEN de la regla).

Estas entidades de conocimiento hacen posible que el motor de inferencia realice consultas.

Si los objetos involucrados son difusos, el motor de inferencia realiza operaciones difusas, calculando la incertidumbre difusa del objeto meta a través de las incertidumbres difusas de los hechos y de las reglas.

El motor de inferencia puede construir árboles de razonamiento apropiados que pueden utilizar *encadenamiento hacia atrás* (backward chaining), pero la evaluación de los valores de los términos difusos debería de realizarse utilizando *encadenamiento hacia adelante* (forward chaining).

CUADRO 5. Base de conocimiento difusa

Anteced. Exposit.	Vía	Dificultad respiratoria	Frecuencia cardíaca	Ritmo cardíaco	Presión arterial	Movimien. anormales	Estado conciencia	Vómito	Visión borrosa
Sí Cercano a 0,7	Cutánea Cercano a 1,0	Normal Cercano a 1,0	Bradicardia Cercano a 0,9	Normal Cercano a 1,0	Normal Cercano a 1,0	No-hay 1,0	Consciente Cercano a 1,0	Escaso Alrededor de 0,5	Si hay Cercano a 1,0
No sabe Cercano a 1,0	Cutánea Cercano a 1,0	Hundimiento Cercano a 1,0	Bradicardia Cercano a 0,9	Normal Cercano a 1,0	Hipertenso Cercano a 1,0	Convulsión 1,0	Obnubilado Cercano a 0,8	Poco Cercano a 0,8	Si hay 1,0
Sí Cercano a 1,0	Oral Cercano a 1,0	Taquipnea Cercano a 1,0	Taquicardia Cercano a 1,0	Normal Cercano a 1,0	Hipertenso Cercano a 1,0	Temblo 0,8	Soporoso Cercano a 0,8	Poco Cercano a 0,8	No hay 0,8
Sí Cercano a 1,0	Oral Cercano a 0,9	Apneas Cercano a 1,0	Taquicardia Cercano a 1,0	Normal Cercano a 1,0	Hipotenso Cercano a 1,0	Convulsión 0,8	Comatoso Cercano a 0,8	Escaso Cercano a 0,8	No hay Alrededor de 0,5
Sí Cercano a 1,0	Oral Cercano a 0,8	Normal Cercano a 0,9	Normal Cercano a 1,0	Normal Cercano a 1,0	Normal Cercano a 1,0	No hay Cercano a 1,0	Consciente Cercano a 1,0	Poco Cercano a 0,8	Si hay 1,0
Sí Cercano a 1,0	Respirat. Cercano a 0,7	Taquipnea Cercano a 1,0	Taquicardia Cercano a 1,0	Normal Cercano a 1,0	Normal Cercano a 1,0	No Hay Cercano a 0,8	Obnubilado Cercano a 0,8	Escaso Cercano a 0,7	No hay 1,0

Diarrea	Vértigo	Trastornos sensibilidad	Trastornos musculares	Pupilas	Salivación	Sonidos pulmonar	Signos musculares	Color piel	Diagnóstico
No hay	Un poco	Normal	Calambres	Mióticas	Normal	Normales	Normales	Normal	(A)
1,0	Cercano a 1,0	Alrededor de 0,5	Alrededor de 0,6	Cercano a 0,9	Cercano a 0,9	Cercano a 0,9	Cercano a 1,0	Cercano a 0,9	Cercano a 0,7
Poca	Un poco	Parestesias	Calambres	Mióticas	Aumentada	Estertores	Fascicula	Cianótica	(B)
Cercano a 0,8	1,0	Alrededor de 0,8	Alrededor de 0,8	Cercano a 0,9	Cercano a 0,9	Cercano a 0,9	Cercano a 1,0	Cercano a 1,0	Cercano a 0,9
No hay	Un poco	Hiperestusias	Debilidad	Normales	Normal	Normales	Mioclónicas	Normal	(C)
1,0	1,0	Alrededor de 0,8	Alrededor de 0,7	Cercano a 1,0	Cercano a 0,9	Cercano a 0,9	Cercano a 1,0	Cercano a 0,9	Cercano a 0,9
Poca	No hay	Parestesias	Mialgias	Normales	Sev. Aum.	Normales	Hipertono	Terrosa	(D)
Cercano a 1,0	Alrededor de 0,5	Alrededor de 0,6	Alrededor de 0,6	Cercano a 1,0	Cercano a 0,9	Cercano a 0,9	Cercano a 0,8	Cercano a 0,9	Cercano a 0,95
No hay	Un poco	No hay	No hay	Mióticas	Leve Aum.	Sibilancias	No hay	Normal	(E)
1,0	1,0	Alrededor de 0,8	Alrededor de 0,7	Cercano a 0,9	Cercano a 0,8	Cercano a 0,9	Cercano a 1,0	Cercano a 0,9	Cercano a 0,8
No hay	Un poco	No hay	No hay	Normales	Normal	Normales	Normales	Normal	(F)
1,0	1,0	Alrededor de 0,8	Alrededor de 0,8	Cercano a 1,0	Cercano a 0,9	Cercano a 0,9	Cercano a 1,0	Cercano a 0,9	Cercano a 0,7

- (A) Muy posiblemente intoxicación moderada por organofosforados
(B) Posiblemente intoxicación severa por organofosforados.
(C) Posiblemente intoxicación moderada por organoclorados.
(D) Muy posiblemente intoxicación severa por organoclorados.
(E) Posiblemente intoxicación leve por organofosforados.
(F) Posiblemente intoxicación leve por organoclorados.

EVALUACION DE REGLAS

Para la evaluación de reglas se pueden utilizar operaciones lógicas difusas que permitan calcular la incertidumbre difusa del diagnóstico a partir de las incertidumbres difusas de los hechos y de las reglas.

Por ejemplo, para la base de conocimiento difusa que se muestra en el Cuadro 5 podemos tomar la primera regla correspondiente a la primera fila de la misma, con sus incertidumbres difusas asociadas, tanto para la regla como para cada uno de los antecedentes de la misma. A partir de estas incertidumbres difusas podemos calcular el grado difuso de certidumbre del diagnóstico obtenido, lo cual se muestra en el Cuadro 6. Como se están utilizando factores de incertidumbre difusos, que

consideran modificadores lingüísticos tales como "cercano" y "alrededor de" se debe utilizar un factor de similaridad, que permita ajustar los valores de la incertidumbre difusa considerada. Estos valores pueden ser calculados⁶, o pueden ser estimados de acuerdo con los valores obtenidos durante el proceso de validación del sistema.

CONCLUSIONES

Una característica de la lógica difusa que es importante para el manejo de incertidumbre en sistemas expertos para el diagnóstico médico, es que ofrece un marco esquemático para manejar los cuantificadores difusos. De esta manera la lógica difusa toma en cuenta aspectos tanto de la lógica de predicados, como de

CUADRO 6. Grado difuso de certidumbre del diagnóstico obtenido.

	Valores	Incertidumbre difusa	Factor de Similaridad (M)
Antecedente de exposición	Sí	Cercano a 0,7	$0,95 * 0,7 = 0,67$
Vía de absorción	Cutánea	Cercano a 1,0	$0,95 * 1,0 = 0,95$
Dificultad respiratoria	Taquipnea	Cercano a 1,0	$0,95 * 1,0 = 0,95$
Frecuencia cardíaca	Bradycardia	Cercano a 0,9	$0,9 * 1,0 = 0,9$
Ritmo cardíaco	Normal	Cercano a 1,0	$0,95 * 1,0 = 0,95$
Presión arterial	Normal	Cercano a 1,0	$0,95 * 1,0 = 0,95$
Movimientos anormales	No hay	1,0	1,0
Estado de conciencia	Consciente	Cercano a 1,0	$0,95 * 1,0 = 0,95$
Vómito	Escaso	Alrededor de 0,5	$0,9 * 0,5 = 0,45$
Visión borrosa	Hay	1,0	1,0
Vértigo	Si hay	1,0	1,0
Trastornos de sensibilidad	Normal	Alrededor de 0,5	$0,9 * 0,5 = 0,45$
Trastornos musculares	Calambres	Alrededor de 0,6	$0,9 * 0,6 = 0,54$
Pupilas	Mióticas	Cercano a 0,9	$0,95 * 0,9 = 0,86$
Salivación	Normal	Cercano a 0,9	$0,95 * 0,9 = 0,86$
Sonidos pulmonares	Normales	Cercano a 0,9	$0,95 * 0,9 = 0,86$
Signos musculares	Normales	Cercano a 1,0	$0,95 * 1,0 = 0,95$
Color de piel	Normal	Cercano a 0,9	$0,95 * 0,9 = 0,86$

Con la conclusión de que posiblemente sea una intoxicación moderada por organofosforados donde * corresponde al operador de la multiplicación difusa.

Para el Cuadro 6, la regla es:

IF

Antecedente de exposición	= Sí	AND
Vía de absorción	= Cutánea	AND
Dificultad respiratoria	= Taquipnea	AND
Frecuencia cardíaca	= Bradicardia	AND
Ritmo cardíaco	= Normal	AND
Presión arterial	= Normal	AND
Movimientos anormales	= No hay	AND
Estado de conciencia	= Consciente	AND
Vómito	= Escaso	AND
Visión borrosa	= Hay	AND
Vértigo	= Si hay	AND
Trastornos de sensibilidad	= Normal	AND
Trastornos musculares	= Calambres	AND
Pupilas	= Mióticas	AND
Salivación	= Normal	AND
Sonidos	= Normales	AND
Signos Musculares	= Normales	AND
Color de Piel	= Normal	AND

THEN

Posiblemente Intoxicación moderada por Organofosforados.

Esta regla tiene una incertidumbre difusa "cercana a 0,7". La incertidumbre difusa de la conclusión, obtenida a partir de las incertidumbres difusas de los valores de los objetos antecedente, se calcula:

Incertidumbre difusa de la conclusión = Min (de las incertidumbres difusas)*

(incertidumbre difusa de la regla)

= Min (0,67, 0,95, 0,95, 0,9, 0,95, 1, 0,95, 0,45, 1, 1, 0,45, 0,54, 0,86, 0,86, 0,86, 0,95, 0,86) *0,7.

= 0,45 * 0,7

= 0,315

la teoría de probabilidad, y hace posible el enfrentarse con tipos diferentes de incertidumbre dentro de un mismo marco conceptual. Esto es importante en los sistemas de diagnóstico médico, por cuanto estos son naturalmente vagos, imprecisos y tienen que enfrentarse algunas veces con información incompleta.

En un sistema experto basado en reglas, la lógica difusa se ha convertido en una herramienta sumamente poderosa y útil debido a que:

1. Permite expresar las reglas de una manera más natural y adaptada a la forma cotidiana de razonamiento del experto humano.
2. Mejora el proceso de validación del sistema, gracias a que brinda la posibilidad de trabajar con grados de incertidumbre difusos. Al posibilitar la cuantificación de la incertidumbre, permite mejorar la eficiencia del sistema experto.
3. Posibilita el obtener niveles de eficiencia mayores en el desempeño del sistema

experto, debido a que no se centra en valores fijos, sino que trabaja con funciones de posibilidad, incrementando el espectro de posibles valores que puede tener una regla o un hecho.

LITERATURA CITADA

1. J.F Baldwin. Fuzzy logic and fuzzy reasoning. *International Journal of Man-Machine Studies*, Vol. 11, 1979, 465-480.
2. N. Clarke, M. McLeish, T. Vyn. Using Certainty Factors and Possibility Theory Methods in a Tillage Selection Expert System. *Expert Systems with Applications*, Vol 4, 1992, 53-62.
3. A. Dutta. The Explicit Support of Human Reasoning in Decision Support System. *Advances in Computer*, Vol. 26, 1987, 1-45.
4. M.A. Eshera, S.C. Barash, Parallel Rule-Based Fuzzy Inference on Mesh-Connected Systolic Arrays. *IEEE Expert*, Winter 1989, 27-35.

5. A. B. Lettick, Knowledge Acquisition in a Medical Domain. *AI Expert*, July 1990, 34-38.
6. K.S. Leung, W. Lam. Fuzzy Concepts in Expert Systems. *Computer*, Sept. 1988, 43-56.
7. K.S. Leung, M.H. Wong, W. Lam. A fuzzy expert damage system. *Data & Knowledge Engineering*, Vol 4, 1989, 287-304.
8. M. Lim. Implementing Fuzzy Rule-Based Systems on Silicon Chips. *IEEE Expert*, February 1990, 31-45.
9. F.H. Mamdani, H.J. Efstahiou. Higher-order logic for handling uncertainty in expert systems. *International Journal of Man-Machine Studies*, Vol. 22, 1985, 281-293.
10. R. Martin-Clouaire. On the problems of representation and propagation of uncertainty in expert systems. *International Journal of Man-Machine Studies*, Vol 22, 1985, pp. 251-264.
11. K. Ng, B. Abramson. Uncertainty Management in Expert Systems. *IEEE Expert*, April 1990, pp. 29-48.
12. OPS, INCAP, UNED, ECO. *Diagnóstico, Tratamiento y Prevención de Intoxicaciones Agudas causadas por Plaguicidas*. Guatemala, 1993, Capítulos 2,3.
13. W. F. Punch. Large Interactions of Compiled and Causal Reasoning in Diagnosis. *IEEE Expert*, February 1992, pp. 28-35.
14. H.J. Simmermann. *Fuzzy Sets Theory and its applications*. Ed. Kluwer-Nijhoff Publishing. Boston, USA. 1985.
15. R. Spillan. Managing with Belief, *AI Expert*, Mayo 1990, 44-49.
16. R. Stein. The Dempster-Shafer Theory of Evidential Reasoning. *AI Expert*, August 1993, 26-31.
17. R. Taber. Knowledge Processing with Fuzzy Cognitive Maps, *Expert Systems with Applications*, Vol 2, 1991, 83-87.
18. T. Whalen, B. Schott. Issues in fuzzy production systems. *Int. Journal of Man-Machine Studies*, Vol 19, 1979, 57-71.
19. R.R. Yager. Aspects of possibilistic uncertainty. *International Journal of Man-Machine Studies*, Vol 12, 1980, 283 - 298.
20. J. Yen. Generalizing the Dempster-Shafer Theory to Fuzzy Sets. *IEEE Transaction on Systems, Man, and Cybernetics*, Vol 20, N° 3, May-June 1990, 559-570.
21. L. A. Zadeh. The Concept of a Linguistic Variable and its Application to Approximate Reasoning I, *Information Sciences*, Vol 8, 1975, 199-249.
22. L. A. Zadeh. The Concept of a Linguistic Variable and its Application to Approximate Reasoning II, *Information Sciences*, Vol 8, 1975, 301-357.
23. L. A. Zadeh. The Concept of a Linguistic Variable and its Application to Approximate Reasoning III, *Information Sciences*, Vol 9, 1975, 43-80.
24. L.A. Zadeh. PRUF - a meaning representation language for natural languages. *International Journal of Man-Machine Studies*, Vol 10, 1978, 395-460.
25. L. A. Zadeh. Knowledge Representation in Fuzzy Logic. *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, Vol 1, N° 1, March 1989, 89-100.