Lógica borrosa:
aplicaciones sanitarias de interés militar

F. Hervás Maldonado[1], E. Cortés Pulido[1], J. A. Maldonado Sanz[2], S. Sánchez Domínguez[3]

RESUMEN
La lógica borrosa se nos presenta en la actualidad como un nuevo método útil para nuestro entrenamiento profesional, merced a su fácil adaptabilidad a los sistemas informáticos modernos. Es conveniente modelizar mediante la percepción de proposiciones en entornos. Y es en la definición de esos entornos donde la lógica borrosa aporta sus conceptos de *conjuntos borrosos, predicados vagos y subconjuntos borrosos.* Se definen estos conceptos. Proponemos modelizar en equipos multidisciplinares de lógica borrosa, formados por expertos, para la creación de diseños de bajo coste orientados al entrenamiento, fundamentalmente médico-militar, de nuestros profesionales.

PALABRAS CLAVE: Modelización - Lógica borrosa - Conjuntos borrosos

Med Mil (Esp) 1996;52 (2): 120-125

REFLEXIONES PRELIMINARES

¿PERCIBIMOS LAS COSAS COMO REALMENTE SON?

¿PERCIBIMOS LAS COSAS COMO REALMENTE SON?

El saber es científico por el Método. Karl Jaspers
Todas las cosas nacen en cada segundo. Max Scheler
Las cosas deben explicarse lo más sencillamente posible, pero no más sencillamente. Albert Einstein

Una determinada frase puede ser representada de múltiples formas, cada una de ellas comprensible para un determinado tipo de población. Sin embargo, cualquier frase carece de sentido si su contenido no es universal. Da igual que recetemos rifampicina en chino o en castellano; lo verdaderamente importante es que la rifampicina exista y esté bien indicada. Es decir, que lo fundamental es que las conductas sean universales, o lo que es lo mismo: el método.

Con el desarrollo de la ciencia, los lenguajes se vuelven confusos y cada vez es más necesario establecer fundamentos teóricos universales que puedan ser utilizados como base de futuras aplicaciones utilizables, igualmente, de una manera universal.

La verdad no puede ser inventada: debe ser descubierta. Las matemáticas representan el tipo de conocimiento más general, más universal y abstracto de aproximación a las ideas.

Desde un punto de vista lógico, la verdad puede ser tratada con relativismo, dogmatismo o escepticismo (tabla 1), de tal modo que las cosas verdaderas pueden serlo por dos motivos: naturaleza o acuerdo de todas las partes.

Tabla 1. *Lógica de la Verdad*

Verdad	Ventajas	Inconvenientes
Relativa	• Mayor capacidad de percepción de las cosas. • Conocimiento más profundo de las secuencias lógicas.	• Mayor lentitud en la comprensión de los problemas. • Más dificultad en la toma de decisiones.
Dogmática	• Mayor velocidad en la toma de decisiones. • Mayor sencillez en la percepción.	• Inexactitud en la percepción de las cosas. • Alto riesgo en la toma de decisiones.
Escéptica	• Gran seguridad en la toma de decisiones. • Rapidez en la capacidad de respuesta ante un problema.	• Deconocimiento de las cosas en su esencia. • Desconocimiento de las secuencias lógicas reactivas.

En cualquier caso, los argumentos de razón no siempre son válidos, ni siempre son razonables los argumentos válidos (tabla 2). Es decir, que la inferenciación es tan importante que sus reglas deben de ser suficientemente justificadas. Por tanto, el método de inferenciación deberá reunir las siguientes características: 1) poseer un fundamento lógico, 2) estar bien referenciado, 3) ser adaptable a las "herramientas" del método de investigación (software), y 4) fundamentarse en criterios objetivos lógicos (mathware).

La inferenciación no debe ser intangible, sino que debe ser algo tan evidente que casi resulte axiomático.

Por ejemplo, supongamos que en un estudio sobre hipertensión se observa que en la muestra de población hipertensa

[1] Cte San. Med. Jefe de Sección
[2] Médico civil. Especialista en Análisis Clínicos
[3] TCol. San. Med. Jefe de Servicio
Servicios de Medicina Preventiva y Microbiología (doctores Hervás y Sánchez) y Análisis Clínicos (doctores Cortés y Maldonado), Hospital Militar Central "Gómez Ulla". Madrid

Dirección para la correspondencia: Dr. D. Francisco Hervás Maldonado. Servicio de Medicina Preventiva y Microbiología. Hospital Militar Central "Gómez Ulla". Glorieta del Ejército, s/n. 28047 Madrid.

Fecha de recepción del manuscrito: 5 de marzo de 1996; en forma revisada: 15 de abril de 1996
Fecha de aceptación del manuscrito: 30 de abril de 1996

Tabla 2. *Áreas de Validez y Razón*

Premisa	Consecuencias	Conclusión
A I B B ℝ C	⇒ A ℝ C	Proposición RAZONABLE, pero NO VALIDA
A I B B ℝ C	→ A ℝ C	Proposición VALIDA, pero NO RAZONABLE

Los conjuntos A, B y C se relacionan entre sí con arreglo al siguiente esquema. I = está incluido; ℝ = se relacionada con;⇒ = consecuentemente;→ = posiblemente.

Tabla 3. *Teorías de la Verdad. Teorías con representación matemática de amplia difusión*

Teorías	Contenido
Proporcional	La verdad es proporcional a los hechos concordantes con una proposicion.
Correspondencia	Sólo son verdaderas las proposiciones concordantes con los hechos referidos.
Redundante	Toda proposición contiene una parte válida de verdad.
Semántica	La verdad viene determinada por el significado de una proposición.
Coherente	La verdad o falsedad de una proposición depende de su compatibilidad con un sistema dado de proposiciones.
Pragmática	Sólo es verdad aquella proposición que posee alguna utilidad práctica.
Escéptica	La verdad es inalcanzable y solamente medimos grado de error de nuestras proposiciones.

interrogada, existe cefalea en el 87% de los casos. Igual sucede en el 15% de la muestra de población no hipertensa que tomamos como control. Una inferencia errónea sería decir que el 87% de la población de hipertensos estudiada padece cefalea. Algo más correcto sería decir que el 72% de la población de hipertensos padece cefalea (restando al 87% el 15% que es el valor esperable en los sanos), pero tampoco sería correcto, pues dicho porcentaje viene condicionado al menos por tres cosas: tamaño de la muestra, tamaño de la población y sistema de medida de dicha hipertensión. De manera que para ser más precisos, en nuestra inferenciación hay que reseñar estas tres cosas como mínimo: en la población de Madrid, en muestreo efectuado con una confianza del 90%, una potencia del 80% y un diseño transversal pareado de casos y controles (por ejemplo), determinando la presión arterial en mmHg con un esfingomanómetro de tal modelo, se observa que un 72% de la población de hipertensos padece cefalea relacionable con el proceso. Naturalmente, esto no es práctico. Por eso basta con decir que la población de hipertensos en estudio padece cefalea imputable a dicho proceso en un 72% (1).

La verdad, por tanto, no está nada clara (tabla 3). Desde un punto de vista clásico, las matemáticas se han basado en las relaciones de causa-efecto. Con el acceso de la informática al mundo de la ciencia, este concepto debe de ser revisado, pues no es correcto. En las ciencias aplicadas, como es la medicina, esto lo vimos hace ya mucho tiempo, y se empezó a hablar de **factores de riesgo** y **factores de protección**. Hoy en día nadie —científicamente sensato— dice, por ejemplo, que la tuberculosis es debida al bacilo de Koch, sino que la infección por bacilo de Koch es el factor de riesgo más importante en la tuberculosis, pues hay otros muchos que, aunque en menor grado, también influyen (estado inmunitario, edad, precocidad diagnóstica, etc), algunas veces de manera definitiva para impedir o promover una enfermedad. Igual sucede con los factores de protección, de manera que del equilibrio entre ambos o su desplazamiento en favor de unos u otros va a depender el que enfermemos o no lo hagamos. Es decir, que las probabilidades en medicina vienen **condicionadas** por las circunstancias colaterales (2).

Los razonamientos en medicina deben ser plausibles, probabilísticos, no monótonos y aproximados. Lo explicaremos.

a) **Plausibles:** tiene que ser posible, con el estado actual de conocimientos, aquello que afirmamos. Por ejemplo: no podemos afirmar que alguien tiene hipertensión en las orejas, porque ni existen precedentes ni aparatos de medida para tal cosa.

b) **Probabilísticos:** pero siempre condicionados por los hechos colaterales y precisamente por ello. Sólo existen las relaciones causa-efecto graduales.

c) **No monótonos:** las proposiciones pueden y deben variar de unas personas a otras y a través del tiempo. Porque se amplían los conocimientos acerca de las enfermedades y porque las respuestas terapéuticas no son invariables.

d) **Aproximados:** podemos aceptar hechos que hayan sucedido en otras circunstancias. Las reacciones alérgicas a un fármaco no van a depender de su indicación de uso, sino del usuario.

Todo ello tiene una expresión matemática que después consideraremos, que es la lógica borrosa.

La conclusión, por tanto, no es más que el refuerzo de la creencia. El razonamiento inquisitivo plausible es vago, provisional y específicamente ligado a alguien que deberá tomar una decisión. El médico, ante unos síntomas x, y, z (en grado a, b, c) de una enfermedad A, toma una decisión B, que tiene unas implicaciones m, n, p (en grado a', b', c') sobre el paciente, con objeto de obtener un resultado C (3).

$$a \bullet x + b \bullet y + c \bullet z = A \Rightarrow B = a' \bullet m + b' \bullet n + c' \bullet p \; ; \; A + B = C$$

C, por tanto, dependerá de a, b, c, a', b', c', x, y, z, m, n, p.

De manera que es absurdo hablar en medicina de relaciones causa-efecto. Vemos que este caso elemental nos plantea un enfoque multivariante (4).

Pero hay algo más. Un patrón de trabajo no puede ser leído como una proposición que pueda ser verdadera o falsa, sino como un esquema deductivo en el que cada parte tiene su significado y en el que la premisa principal tiene el carácter de **regla de conjetura,** aproximada en el sentido de que **hasta ahora nunca fue violada**; es decir que ninguna observación de su antecedente ha llevado a un consecuente al desacuerdo con la realidad. Continuando con el ejemplo de la tuberculosis, la regla de conjetura es que debe ser tratada con un antibiótico de entre un grupo seleccionado. Si alguna vez se descubriese que un tratamiento con otra sustancia no antibiótica, de entre un grupo de varias de similares características (por ejemplo: una sal metálica de fácil absorción), fuese más eficaz que el antibiótico, la regla de conjetura se violaría, estableciéndose (al menos para algunos casos) una nueva regla de conjetura.

Por tanto, en los diseños sanitarios realizados para la resolución de problemas de salud, nos movemos en un entorno de posibilidades, no de hechos. Los hechos son posteriores y se derivan de ellas. Así, las probabilidades reales suelen ser inferiores a las teóricas no corregidas. Desde una óptica estocástica sencilla, plana y elemental (es decir, clásica), Bayes resuelve el problema formulando su **Teorema de las Probabilidades Condicionales** (tabla 4) (3). Si estudiamos las probabilidades conjuntas, vemos que la existencia o inexistencia de un suceso depende de la existencia o inexistencia de su contrario.

Por ejemplo, la probabilidad de ser hipercolesterolémico depende de la probabilidad de no serlo, lo cual es tan obvio como falso (5). Porque... ¿dónde está la frontera que separa estas dos poblaciones? En un número que hemos determinado estadísticamente y que está sujeto, por tanto a subjetividades y a probabilidades tanto positivas como negativas, influidas por múltiples factores: edad, sexo, hábitos alimentarios, etc (6).

Tabla 4. *Probabilidades condicionales y Teorema de Bayes*

Probabilidad Condicional $p(A \mid B) = p(A \cap B) / (p(B)$ En términos médicos: la probabilidad de que un factor de riesgo esté condicionando el desarrollo de una enfermedad depende de su asociación matemática (numerador) y de la existencia de ese factor de riesgo (denominador).
Teorema de Bayes. $p(A \mid B) = p(B \mid A) \cdot p(A) / [p(B \mid A) \cdot p(A) + p(B \mid A') \cdot p(A')]$ En términos clínico-epidemiológicos: A = Existencia de Factor de Riesgo. A' = Ausencia de Factor de Riesgo. B = Enfermedad. p (A) = Propabilidad del Factor de Riesgo (Probabilidad Anterior). p (A I B) = Probabilidad del Factor de Riesgo dada la Enfermedad (Probabilidad Posterior). p (B I A) = Probabilidad de la Enfermedad dado el Factor de Riesgo (Probabilidad Condicional de B con respecto a A). p (B I A') = Probabilidad de la enfermedad dada la ausencia del Factor de Riesgo (Probabilidad Condicional de B con respecto a A'). p (A') = Probabilidad de ausencia del Factor de Riesgo. $p(B \mid A) \cdot p(A)$ = Probabilidad Conjunta = $p(B \cap A) = p(A \cap B) = p(A \mid B) \cdot (p(B)$

Por tanto, desde un punto de vista matemático nos encontramos ante lo que se llama una **función de distribución de probabilidad** en la que intervienen muchas variables (tantas como puedan relacionarse de algún modo con nuestro problema). Esa función está constituida por el conjunto de variables referidas a los números reales ($\mathbb{R}$), que podemos considerarlos oscilando entre dos absolutos: el 1 (sí) y el 0 (no), pues así lo adaptaremos al binario de la informática. Explicar aquí la función no tiene sentido, pero sí conviene definir sus características: es nodal (0,1), creciente (incorpora variables y valores permanentemente) y continua (no se interrumpe para determinados valores). Para cada variable se expresa así:

$Fx(t) = p(X^{-1}\{[-\infty, t]\})$

Fx (t) = función de distribución en un tiempo dado de la variable x.

X^{-1} = conjunto de los valores inversos de x.

t = tiempo considerado.

$[-\infty,t]$ = serie de efectos hasta el momento considerado.

Cada elemento de una variable no puede ser considerado aisladamente, sino junto a los otros, constituyendo lo que antes se llamaba distribución (7), ahora se denomina conjunto y pronto conoceremos como entorno. Todas las definiciones son válidas y se complementan, como se recoge en la tabla 5. La ventaja de trabajar en entornos es que aumentamos la información y profundizamos más en el posible establecimiento de soluciones reales y efectivas. El inconveniente es que su abordaje es complejo. La lógica convencional no nos sirve. Precisamos otros procedimientos.

Tabla 5. *Distribución, Conjunto y Entorno*

DISTRIBUCION	Agrupamiento de elementos de variable en un momento dado. La define una función.	Ejemplo: Individuos hipertensos.
CONJUNTO	Agrupamiento de elementos o de variables que tienen una o más propiedades comunes.	Ejemplo: Individuos hipertensos de Madrid. Ejemplo: Individuos hipertensos y Cardiópatas de Madrid.
ENTORNO	Agrupamiento de variables que poseen algunas propiedades comunes y otras no tanto.	Ejemplo: Métodos diagnósticos de la hipertensión arterial.

Para solucionar el problema, Zadeh, en 1965, introduce la idea de los conjuntos borrosos.

LÓGICA BORROSA

La lógica borrosa constituye un nuevo sistema de evaluación de proposiciones (8). En la lógica clásica, todo es verdadero o falso, pero la realidad es que los predicados que utilizamos habitualmente no son tan tajantes (grande, delicado, valiente...), constituyendo conceptos vagos de difícil expresión matemática.

En la lógica borrosa tratamos de aportar unos modelos que sean válidos para profundizar en el estudio de los predicados vagos y en las formas de razonamiento usuales. Por tanto, el primer objetivo de la lógica borrosa es modelizar situaciones poco claras, optimizándolas al máximo.

Hay ejemplos de ello que se recogen en la tabla 6. Las funciones de pertenencia a un grupo o conjunto se determinan en base a criterios múltiples (9) (no biunívocos: si-no) y no definen relaciones de causa-efecto, sino factores de riesgo, factores de no riesgo y factores de protección que promueven uno o múltiples efectos relacionados o no entre sí.

Para que dichas modelizaciones estén lo más optimizadas posible, el diseño de las mismas debe de ser multidisciplinar, pues es imposible ser experto en todo (10).

Y esto nos lleva a la definición de **conjunto borroso**. Un error común entre los no informados es considerar un conjunto

Tabla 6. *Modelos de Lógica Borrosa*

Digitalización Informática de Imágenes Radiológicas	Modelizamos niveles tomográficos a partir de una sola radiografía en base a funciones que definen los grados de densidad radiológica, disminuyendo mucho la dosis de radiación que sufren los pacientes.
Reacción en Cadena de la Polimerasa (Carga Viral)	Modelizamos la capacidad de replicación viral mediante un procedimiento de amplificación y estandarizamos un valor numérico útil en la valoración de la respuesta a un tratamiento (carga viral).
Vigilancia Epidemiológica	Modelizamos respuesta a factores de riesgo y su posible modificación con respecto a situaciones sanitarias que requieran respuestas rápidas.
Función Militar	Modelizamos comportamientos posibles en situaciones de crisis y asignamos recursos para el entrenamiento en su prevención.

Tabla 7. *Teoría de la Medición*

Transformación	Tipo de escala	Ejemplo típicos
f (x) = x	Absoluta	Contar
f (x) = a • x, a > 0	Razón	Masa Intervalo temporal
f (x) = a • x + b, a > 0	Intervalo	Temperatura Calendiario Cociente de Inteligencia
f (x) = a • x^b, a, b > 0	Log-Intervalo	Función psicofísica
f (x) = x + b	Diferencia	Thurstone Dosis-Respuesta
f estrictamente creciente	Ordinal	Dureza Preferencia Grados
f biyectiva	Nominal	Códigos curriculares Etiquetaje numérico

borroso igual a un entorno. No es lo mismo. Tampoco es un conjunto de propiedades mal definidas. Sus propiedades, sin duda, están claramente definidas. Lo que no está definido en el conjunto borroso son sus elementos. Un conjunto borroso es un agrupamiento de elementos de variable o de variables que poseen las siguientes características: 1) estar sujetos(as) a probabilidades condicionales, 2) definir predicados vagos, 3) poseer subconjuntos borrosos, y 4) ser fácilmente modificables a lo largo del tiempo.

En la construcción de una modelización de lógica borrosa pueden y deben intervenir diversos expertos: estadísticos, expertos en Teoría de Magnitudes (esto es fundamental, pues los algoritmos utilizados se basarán en transformaciones según la escala de medida, como se refleja en la tabla 7), expertos en Teoría de la Información, expertos en indizaciones, expertos en Teoría de la Decisión, matemáticos, médicos y —en nuestro caso— militares.

De manera que todo conjunto borroso dependerá tanto del universo que lo contiene como de sus constructores.

Consideremos ahora algunos aspectos en relación con los predicados vagos y subconjuntos borrosos.

Un **predicado** es algo que califica los objetos (elementos o variables) de un conjunto borroso de los que tenemos un conocimiento previo. En la lógica clásica, el predicado es lo que define al sujeto. Sin embargo, en la lógica borrosa, las proposiciones sólo son verdaderas o falsas en cierto grado, de manera que sus atributos no están bien definidos, constituyendo los llamados **predicados vagos.** No debemos confundir los atributos de los objetos del conjunto con las propiedades de dicho conjunto (referidas a su capacidad operativa), que no pueden desglosarse por objetos (si no, no habría tal conjunto).

Un **subconjunto borroso** es aquella parte del conjunto borroso en que se da la noción de pertenencia generalizada, o dicho de otra manera: la función de pertenencia a un subconjunto borroso es la compatibilidad con el predicado que le da nombre.

Pongamos un ejemplo. Supongamos que definimos un conjunto borroso formado por los enfermos de diabetes mellitus. Un predicado vago sería la glucemia basal muy elevada y un subconjunto borroso sería el de los individuos diabéticos con glucemia basal muy elevada. Naturalmente, esto no nos dice nada. Entonces definimos una ecuación:

G = k • g • d [1], donde:

G = gravedad de diabetes.

k = logaritmo neperiano de la inversa de la edad.

g = logaritmo neperiano de la glucemia basal.

d = logaritmo neperiano de la dosis de insulina diaria inyectada.

Y a partir de aquí, modelizamos. Antes de ello conviene recordar la conveniencia de igualar las magnitudes lo más posible. Por eso conviene representarlas en logaritmos de números naturales.

Lo primero es ver las probabilidades condicionales de las variables.

■ Edad: vemos los días que exceden al cumpleaños del individuo, los dividimos por 365, le sumamos su edad y después extraemos el ln. Es decir, ajustamos la edad.

■ Glucemia basal: supongamos que la técnica declara un 90% de exactitud, con una capacidad discriminativa del 94%; p = 90/94 = 0,95. Lo multiplicamos por el valor obtenido de g y después calculamos el ln.

■ Dosis insulínica: la multiplicamos por un índice, obtenido de la farmacocinética del producto, al que llamamos índice de eficacia terapéutica, y después calculamos el ln.

Supongamos que en nuestra muestra hemos obtenido unos determinados valores:

Paciente a: 24 años y 57 días; glucemia basal de 170 mg/dl y 17 unidades de insulina con un i = 0,91. Calculamos: 57/365 = 0,15 ; k = ln 24,15 = 3,18 ; g = ln (170•0,95) = 5,08 ; d = ln (17•0,91) = 2,73 ;; donde G = k•g•d = 44,1.

Paciente b: 71 años y 103 días, 143 de glucemia y 14 unidades de la misma insulina. k = 4,2 ; g = 4,91 ; d = 2,54 ;;; G = 52,3.

Paciente c: 52 años y 213 días, 214 de glucemia y 22 unidades de insulina. k = 3,96 ; g = 5,31 ; d = 2,99 ;; G = 62,8.

Según nuestro ejemplo, el paciente *c* poseería un mayor índice de gravedad. La realidad, por desgracia no es tan sencilla. Normalmente intervienen decenas o centenas de variables en una buena modelización, con sus respectivas probabilidades. Además, la construcción de un conjunto borroso que modelice un predicado vago puede hacerse de múltiples formas, algunas de las cuales vienen reflejadas en la tabla 8.

Tabla 8. *Construcción de Conjuntos Borrosos*

Proceso	Características
Asignación directa individual o colectiva (Zysno, Norwich, 1981)	Procesos de complejidad variable que no se hacen explícitos en el momento de la asignación (evaluación de méritos, valoración de precios, etc.).
Estadísticos o probabilísticos	Distribuciones y muestreos, simulación numérica, teoría de juegos, etc.
Análisis de alternativas (Saaty, 1980)	Teoría de bifurcaciones y estabilidad elemental.
Medición directa o indirecta (Trillas, 1991)	Basados en magnitudes elementales o derivadas y en general objetivables.
Satisfacción de predicado vago (Zhang, 1993)	Primero se seleccionan los elementos que no satisfagan en absoluto el predicado vago y los que lo satisfacen plenamente, para después modular en binario.

Pongamos algún ejemplo. En un análisis de opciones, mediante teoría de bifurcaciones (Saaty), consideramos para un par de alternativas (operar = **A**; no operar = **B**) los valores:

A igual que **B** 1
A débilmente mejor que **B** 3
A fuertemente mejor que **B** 5
A muy fuertemente mejor que **B** 7
A absolutamente mejor que **B** 9

reservándose los valores 2, 4, 6, 8 para promedios. A *n* alternativas $\mathbf{A}_1$, ... , $\mathbf{A}_n$, el método de Saaty asignará un vector de prioridades $a_1 / (a_1 + ... + a_n)$, ... , $a_n / (a_1 + ... + a_n)$, que constituye un conjunto borroso sobre el que poder modelizar (11).

APLICACIONES MILITARES

Con frecuencia, en diseños teóricos militares empleamos frases como: "elevado número de bajas en ataque", "posición fuertemente organizada en defensiva", o similares, que están constituidas por predicados vagos que definen subconjuntos borrosos. Así, en el caso de las bajas, el conjunto borroso bajas (heridos, muertos, desaparecidos) viene calificado por el predicado vago "elevado número" que define el subconjunto borroso "bajas en ataque". En el segundo caso, el conjunto borroso "defensiva" se ve calificado por el predicado vago "fuertemente organizada" que define el subconjunto borroso "posición".

Analicemos más detenidamente el primer caso.

Poseemos el conjunto borroso **bajas,** al que denominare mos A. Dicho conjunto borroso **A** está constituido por los sub conjuntos (12) bajas en ataque (B) y bajas en defensa (C), defi nidos por los predicados vagos "elevado número" (B') y "baj número" (C') que poseen los objetos:

1. Heridos (a), con los rangos: a1 = extrema urgencia, a2 = primera urgencia, a3 = segunda urgencia, a4 = tercera urgen cia, cada uno de ellos con sus probabilidades condicionale pa1, pa2, pa3 y pa4.
2. Muertos (b), con su probabilidad condicional pb.
3. Desaparecidos (c), con su probabilidad condicional pc.

Si nos referimos al subconjunto B o a', b', c' con sus p s nos referimos al subconjunto C.

Las probabilidades condicionales de los predicados vago B' y C' vienen determinadas por las notaciones p'' y p'''.

En primer lugar, asignamos valores:

I] Subconjunto borroso B:

B = [(a)•pa, b•pb, c•pc]•B'•p'' = [a1•pa1, a2•pa2, a3•pa3 a4•pa4, b•pb, c•pc]•B'•p'' = (a1•pa1•B'•p'', a2•pa2:B'•p'' a3•pa3•B'•p'', a4•pa4•B'•p'', b•pb•B'•p'', c•pc•B'•p'').

II] Subconjunto borroso C:

C = (a'1•pa'1•C'•p''', a'2•pa'2•C'•p''', a'3•pa'3•C'•p''' a'4•pa'4•C'•p''', b'•pb'•C'•p''', c'•pc'•C'•p''').

III] Conjunto borroso A:

A = B ∪ C ; es decir, todos los objetos descritos en [I] y [II]

A continuación, jerarquizamos los objetos. Para ello, lo primero que necesitamos es saber las probabilidades condicionales y asignar valores a los predicados vagos. Hay muchos sistemas de jerarquizar. Personalmente, nosotros preferimos y utilizamos el Análisis en Cluster, pero cualquier sistema es bueno, siempre que se sepa manejar.

Por último, una vez jerarquizados los objetos, establecemos un sistema de preferencias. Nosotros utilizamos el análisis Network, pero da igual uno que otro. Lo importante es saber utilizar uno bien. Y como consecuencia de ello, construimos un algoritmo en el que definimos los inputs y las vías de outputs de manera que al modificar los datos de entrada, se modifican las conclusiones.

Cualquier aplicación militar que implique toma de decisiones es adaptable a la lógica borrosa, pues en situaciones de crisis las premisas no suelen estar claras, de manera que la sanidad militar es candidata a este tipo de análisis matemático, pues modelizar es básico para poder decidir cuando no se tiene información suficiente.

El ejemplo aquí expresado es elemental, por supuesto. Normalmente se manejan cientos de variables y miles de objetos. No por añadir objetos se incrementa el caos, sino más bien al contrario. El problema es saber manejarlos, aunque gracias a los soportes informáticos esto es relativamente sencillo.

Sin embargo, lo que sí debe de tenerse en cuenta es que la información y su tratamiento han de ser multidisciplinares. Las especialidades militares y médicas deben complementarse para poder diseñar adecuadamente estos entramados. Solamente así obtendremos modelos válidos para todos. En nuestro ejemplo anterior no hemos considerado muchos detalles no médicos, como el tipo de ataque (NBQ, convencional, etc), el transporte de heridos (ambulancias, helicópteros, trenes,...), el grado de entrenamiento de la tropa, los medios de protección individual y colectivos, el tipo de armamento, la estación del año, el apoyo aéreo, etc. El asunto es complejo y debemos complicarlo al máximo si queremos optimizarlo.

Por eso, los equipos de diseño en lógica borrosa tienen que ser multidisciplinares.

BIBLIOGRAFÍA

1. Domènech JM. Bioestadística. Barcelona: Herder, 1977:46.
2. Martín A, Luna JD. Bioestadística para las Ciencias de la Salud. Madrid: Norma, 1990:46-76, 121.
3. Colimon KM. Fundamentos de Epidemiología. Madrid: Diaz de Santos, 1990:33-46, 131-168.
4. Kleinbaum DG, Kupper LL, Morgenstern H. Epidemiologic Research. New York: Van Nostrand Reinhold, 1982:419-507.
5. New Trends in Biological Chemistry. Tokyo: Jap Sci Soc Press, 1991:341-72.
6. Laidlaw SA, Swendseid ME. Vitamins and Cancer Prevention. New York: Wiley-Liss, 1991:39-60.
7. Holland WW, Ipsen J, Kostrzewsky J. Mediciones de los Niveles de Salud. Barcelona: Salvat, 1982:47-126.
8. Trillas E, Alsina C, Terricabras JM. Introducción a la Lógica Borrosa. Barcelona: Ariel, 1995:127-218.
9. Martínez JC. Bioeconomía. Málaga: Univ. Málaga, 1986:37-46.
10. Pineault R, Daveluy C. La Planificación Sanitaria. Conceptos, Métodos, Estrategias. Barcelona: Masson, 1992:43-203.
11. Algorítmica. Modelizaciones. 3er. y 5º Cursos de Teoría de Diseño Sanitario. Madrid: DMAMI, ETS Ing Minas, UPM, 1993 y 1996.
12. Adams JB. A probability model of medical reasoning and the MYCYN model. Math Bios 1976:177-86.