

Herramientas de lógica difusa para la toma de decisiones en tareas del Sistema Nacional de Salud

Luis Manuel Alonso Aguila ^I, Carmen Luisa Portuondo Sánchez ^{II}, Ana María Gálvez González ^{III}.

I. Departamento de Ingeniería Industrial. Facultad de Ingeniería Industrial. Instituto Superior Politécnico "José Antonio Echeverría" (CUJAE)

II. Departamento de Informática. Centro para el Control de la Calidad de los Medicamentos (CECMED)

III. Departamento de Economía de la Salud. Escuela Nacional de Salud de Salud Pública (ENSAP)

Autor para la correspondencia: DrC. Luis Manuel Alonso Águila. Departamento de Ingeniería Industrial. Facultad de Ingeniería Industrial. Instituto Superior Politécnico "José Antonio Echeverría" (CUJAE). Email: lmalonso@ind.cujae.edu.cu

RESUMEN

Introducción: los estudios de evaluación económica generalmente se apoyan en modelos deterministas y estadísticos, es claro que los costos pueden evaluarse de manera objetiva y precisa pero los beneficios para la sociedad y los pacientes tienen siempre un carácter más bien subjetivo e incierto por lo que resulta un terreno fértil para la introducción de modelos matemáticos basados en la llamada Lógica Difusa o Lógica Borrosa. **Objetivo:** describir las posibilidades de aplicación de herramientas de lógica difusa a la toma de decisiones en salud pública y con ello propiciar que los decisores las conozcan y valoren su factibilidad para su aplicación en el sistema de salud cubano. **Método:** se realizó una revisión bibliográfica y documental. Se empleó el modelo Big6. **Resultados:** la lógica difusa utiliza dos ideas esenciales: la graduación o gradación y la granularidad o granulación. La graduación significa que todo es cuestión de grados o niveles. La granularidad significa que las fronteras entre un estado y otro no están definidas nítidamente. Se presentan tres casos. El primero ilustra como ordenar un conjunto de farmacias del país de acuerdo a un conjunto de indicadores; el segundo ilustra como agrupar los municipios del país de acuerdo a un conjunto de indicadores de salud y el tercero muestra como determinar la mejor opción ante tratamientos diferentes de una enfermedad. **Conclusión:** las herramientas de lógica difusa no requieren un tratamiento matemático muy complejo y resultan válidas para soportar la toma de decisiones en salud siempre que se requiera combinar información objetiva con una subjetiva.

Palabras clave: Lógica Difusa, Operador maxmin, Toma de Decisiones, algoritmo de ordenamiento, Algoritmo de agrupamiento.

INTRODUCCIÓN

Es conocido que los modelos matemáticos basados en principios deterministas o en principios estadísticos, se han utilizado siempre en la solución de los más variados problemas de las ciencias naturales, tanto con carácter empírico como teórico. Fenómenos de naturaleza inorgánica o inanimada regidos por leyes de la mecánica, de la física, o de la química, así como fenómenos de naturaleza orgánica o animada a los que se unen también principios y leyes biológicas ya sea con carácter dinámico o estático, han resultado fácilmente asimilables por estos modelos matemáticos.

Los modelos matemáticos que pretenden describir fenómenos sociales, deberán tener en cuenta entre otras cosas, dos tipos de factores que se dan en ellos: los factores objetivos, es decir aquellos que resultan independientes de las personas como las condiciones naturales o los recursos materiales existentes y los factores subjetivos, es decir, los que dependen de los modos de pensar y actuar de los hombres, de su conciencia, su voluntad, o sus deseos, por lo que el estudio de fenómenos de carácter eminentemente social no siempre puede abordarse a partir de modelos matemáticos basados en la aritmética de la certeza o de la aleatoriedad, debido a que en estos fenómenos la información que se dispone muchas veces está cargada de subjetividad e incertidumbre.

En 1965 Lotfy A. Zadeh publica los primeros trabajos sobre subconjuntos borrosos. Si bien al principio no tuvieron gran acogida, con el tiempo sus ideas se han ido desarrollando con aplicaciones en la ingeniería y en la esfera económica y de gestión empresarial. En los últimos años han ganado terreno muchos modelos y algoritmos que han ido conformando los cimientos de lo que se ha dado en llamar Matemática Numérica y no Numérica en la Incertidumbre. Para ello se ha tomado como fundamento a la lógica difusa con sus variadas interpretaciones, y con estas herramientas se pueden modelar muchos fenómenos de carácter eminentemente social donde no resulta muy confiable siquiera asumir ciertas leyes estadísticas para su tratamiento dado que la información de que se dispone se encuentra deficientemente estructurada.

Modelos asociados a los conceptos de relación, asignación, agrupación y ordenación, entre otros, algunos conocidos desde hace bastante tiempo, le pueden facilitar el camino a quienes tienen que tomar partido por una alternativa frente a otra u otras, es decir tomar decisiones. Estos modelos también se han utilizado con éxito en los últimos años en la esfera económica y de gestión en general.

El objetivo de este trabajo es mostrar las posibilidades de aplicación de operadores y algoritmos de la lógica difusa, como herramienta para la toma de decisiones en tareas de gestión de Salud Pública.

MATERIAL Y MÉTODOS

Se realizó una revisión bibliográfica y documental sobre el tema de la aplicación de herramientas de lógica difusa a la toma de decisiones. Se empleó el modelo Big6 para ello como modelo de competencias en el uso y manejo de la información. ¹

RESULTADOS

Bases generales de la lógica difusa

Es bueno precisar que incertidumbre y azar no representan el mismo concepto ya que el azar está sujeto a leyes, las leyes estadísticas, y la incertidumbre no posee leyes por lo que no representan los mismos niveles de información. La estructura de la incertidumbre es débil, es vaga, y cuando se le explica se hace de manera subjetiva. El azar está vinculado al concepto de probabilidad como medida de observaciones repetidas en el tiempo o en el espacio.

La diferencia esencial entre el concepto de subconjunto y el de subconjunto borroso es la siguiente: para los subconjuntos ordinarios la pertenencia de un elemento del conjunto al subconjunto es de todo o nada, es decir este concepto se adapta perfectamente a la llamada lógica binaria. El concepto de subconjunto borroso resulta más abarcador e incluye como caso particular al de subconjunto simple ya que para el caso borroso se aceptan los matices, es decir cada elemento del conjunto puede pertenecer al subconjunto con un cierto grado o nivel, para lo cual resulta cómodo asociarle a cada subconjunto borroso A una función de pertenencia que denotaremos como $\mu_A(x)$ definida para cada x del conjunto universal U de tal manera que $0 \leq \mu_A(x) \leq 1$.

Si $\mu_A(x)$ toma valores próximos a cero se indica poca pertenencia por parte del elemento x al subconjunto borroso A y valores próximos a 1 indican una alta o elevada pertenencia. Siguiendo esta idea para cualquier conjunto universal U se puede asociar la noción de subconjunto ordinario con la siguiente función característica de pertenencia:

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 1 & \text{si } x \in A \\ 0 & \text{si } x \notin A \end{cases}$$

Para los subconjuntos borrosos, como ya se expresó, $0 \leq \mu_A(x) \leq 1$. La función de pertenencia puede ser continua o discreta atendiendo a las características que se quieran destacar con el subconjunto borroso.

En interés de evitar confusiones, es bueno precisar que los conceptos de ley de distribución para la Teoría de Probabilidades y la Estadística y de función de pertenencia para la Lógica Difusa sirven para comparar el grado o medida en que objetos diferentes de un mismo conjunto cumplen con cierta característica o cualidad, pero existe una diferencia esencial entre ambos enfoques: en el enfoque de la ley de distribución se parte de un todo que "se distribuye" con la condición de que al aumentarse por un lado debe disminuirse por otro para no afectar al todo, mientras que esa restricción no se tiene en cuenta para el enfoque de la función de pertenencia.

El tratamiento de conceptos como el amor, la bondad, la solidaridad, la posibilidad, gustos, preferencias, entre tantos otros, se adapta perfectamente al enfoque de la lógica difusa ya que sin partir de un saco lleno de amor, bondad, solidaridad, gustos y preferencias, también pueden distribuirse estas características o cualidades.

Para tomar decisiones con criterios científicos se requiere muchas veces la modelación matemática del problema y para ello puede combinarse el enfoque determinista con el estadístico y con el difuso. Si la información disponible es

suficientemente confiable para un modelo determinista o para una ley estadística es natural el uso de herramientas de la Investigación Operacional o la Estadística Matemática. Pero si en la información disponible se conjugan elementos objetivos y subjetivos es mejor usar herramientas que se basen en la Teoría de los Subconjuntos Borrosos con lo cual se obtendrán soluciones menos exactas o precisas pero más realistas.

Posibles aplicaciones al campo de la salud

En el caso de enfermedades tiene sentido considerar, por ejemplo, al subconjunto borroso de las personas diabéticas o al subconjunto borroso de las personas hipertensas referidas a un conjunto universal que puede ser el de todas las personas de una ciudad o un país. Nótese que cualquier persona puede ser diabética o hipertensa en cierto grado. Los que no padecen la enfermedad lo son en grado cero y los casos de mayor severidad lo son en grados próximos a uno. Puede establecerse entonces una gradación de acuerdo a la severidad de la enfermedad.

Seguidamente se muestran tres problemas asociados a tareas de gestión en el campo de la salud que muestran la aplicabilidad de estos enfoques para tomar decisiones acertadas.

Primer problema: Ordenamiento de farmacias de acuerdo a indicadores

El algoritmo que se propone aparece desarrollado en la literatura como vía para el ordenamiento de un conjunto $E1 = \{ P1, P2, \dots, Pm \}$ de m elementos a partir de otro conjunto $E2 = \{ C1, C2, \dots, Cn \}$ de n características o cualidades que forman los criterios para el ordenamiento. Estas técnicas basadas en los principios de la matemática borrosa, se han desarrollado últimamente a partir de los trabajos de Arnold Kaufmann y Jaime Gil Aluja² para el planteamiento y solución de muchos problemas económicos, de gestión y sociales en general. Por no resultar habitual en nuestro medio seguidamente se ilustra con un ejemplo didáctico. Tomaremos como conjunto $E1$ el formado por 8 farmacias y $E2$ formado por 7 indicadores ².

$E1 = \{ P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7, P8 \}$ y $E2 = \{ C1, C2, C3, C4, C5, C6, C7 \}$.

Con esa información es posible construir la siguiente tabla

	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8
C1	.2	.1	.6	.9	.7	.4	.3	.2
C2	.1	.6	.5	.8	.4	.3	.6	.9
C3	1	.2	.3	.6	.4	.3	.9	.8
C4	.5	.7	.6	.4	.1	.2	.6	.4
C5	.9	.8	.7	.2	.5	.1	.9	.8
C6	.6	.5	.3	.1	.2	.9	.6	.5
C7	.3	.2	.9	.8	.7	.5	.5	.5

El significado de la tabla es como sigue: En la primera fila y segunda columna aparece el valor .1 con lo cual se expresa que el indicador C1 lo cumple la farmacia P2 a ese nivel, es decir solo al 10 por ciento. El valor .9 de la primera fila y cuarta

columna significa que la farmacia P4 cumple el indicador C1 al nivel .9 es decir al 90 por ciento y así con todas las farmacias e indicadores.

Lo interesante de este enfoque es que los valores situados en las celdas pueden obtenerse como medidas, es decir estimaciones numéricas objetivas o como valuaciones es decir estimaciones numéricas subjetivas. Con esta información podemos formar una nueva tabla con los siguientes valores:

	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8
P1	X	5	3	4	4	3	3	5
P2	2	X	4	3	4	3	2	3
P3	4	3	X	4	5	6	3	3
P4	3	4	3	X	5	6	3	3
P5	3	3	2	2	X	5	2	2
P6	4	4	2	1	2	X	3	3
P7	6	6	5	4	5	5	X	6
P8	3	6	4	5	5	5	2	X

Su significado es el siguiente: el número 5 que aparece en la primera fila y segunda columna indica que la farmacia P1 tiene valuaciones mayores o iguales que la farmacia P2 para 5 indicadores que en este caso son los indicadores C1, C3, C5, C6 y C7. Este procedimiento se aplica con todos los pares de farmacias.

Si ahora dividimos el valor de cada celda por 7 (total de indicadores), se tiene:

	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8
P1	X	.71	.43	.57	.57	.43	.43	.71
P2	.29	X	.57	.43	.57	.43	.29	.43
P3	.57	.43	X	.57	.71	.86	.43	.43
P4	.43	.57	.43	X	.71	.86	.43	.43
P5	.43	.43	.29	.29	X	.71	.29	.29
P6	.57	.57	.29	.14	.29	X	.43	.43
P7	.86	.86	.71	.57	.71	.71	X	.86
P8	.43	.86	.57	.71	.71	.71	.29	X

Consideramos un umbral, por ejemplo 0.7, entonces los valores mayores o iguales a 0.7 se convierten en 1 y los valores menores se convierten en 0 y se tiene la siguiente tabla formada por una matriz binaria:

	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8
P1	X	1	0	0	0	0	0	1
P2	0	X	0	0	0	0	0	0
P3	0	0	X	0	1	1	0	0
P4	0	0	0	X	1	1	0	0
P5	0	0	0	0	X	1	0	0
P6	0	0	0	0	0	X	0	0
P7	1	1	1	0	1	1	X	1
P8	0	1	0	1	1	1	0	X

El algoritmo consiste en los siguientes pasos:

1. El primer lugar en el orden lo forman los P_i para los cuales toda la columna de la matriz está formada de ceros. En este caso el primer lugar corresponde a P7.
2. El último lugar en el ordenamiento lo forman los P_j para los cuales toda la fila de la matriz está formada de ceros. En este caso el último lugar corresponde a P2 con P6.
3. Se eliminan tanto las columnas como las filas que cumplen los pasos 1 y 2 y se repite el proceso con la matriz reducida obteniéndose el segundo y penúltimo lugares y así sucesivamente.

Se obtiene finalmente el orden siguiente: $\{P7\} > \{P1, P3\} > \{P8\} > \{P4\} > \{P5\} > \{P2, P6\}$

por lo que se le deberá prestar mayor atención a las farmacias $\{P2, P6\}$, $\{P5\}$ y $\{P4\}$ en ese orden por ser las más deficientes.

Se debe probar con diferentes umbrales para evitar «circuitos» y obtener un orden que ofrezca información de valor práctico.

En condiciones reales se puede trabajar con 20 indicadores y unas 300 farmacias de todo el país y la información inicial se recoge solo con la condición de si la farmacia cumple o no cumple cada indicador. Esta información existe en las bases de datos de auditorías realizadas al Programa Nacional de Medicamentos.⁵

La siguiente tabla muestra la información recogida con 5 farmacias $\{a,b,c,d,e\}$ y los 20 indicadores

$\{A,B,\dots,T\}$

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
a	1			1		1		1		1			1				1			1
b	1		1						1						1				1	
c	1	1		1	1		1	1			1	1		1		1	1			1
d	1			1				1			1			1				1		
e					1		1									1				

Con esta información se forma otra tabla como sigue:

	a	b	c	d	e
a	x	7.5	5.5	6.5	8
b	4.5	x	4.5	4.5	5
c	9.5	11.5	x	9.5	10.5
d	4.5	5.5	3.5	x	6
e	3	3	2	3	x

Para cada indicador se cuenta las veces que una farmacia supera a otra y se le asigna el valor 1 por cada vez mientras que si coinciden en el cumplimiento se le asigna 0.5 a cada una. En el caso de la casilla (a,b) aparece 7.5 ya que a supera a b en los indicadores D, F, H, J, M, Q y T que aportan 7 puntos mientras que para el indicador A como ambas lo cumplen se considera 0.5 tanto en (a,b) como en (b,a).

Con la información de la última tabla se pueden establecer umbrales y binarizarla para aplicarle el algoritmo descrito.

Segundo problema: Criterio para determinar la preferencia por la población del lugar para el tratamiento de una enfermedad

La población puede recibir tratamientos diferentes en lugares diferentes para una misma enfermedad de acuerdo a criterios objetivos y subjetivos. Entre los subjetivos puede considerarse las preferencias del personal médico por un tipo de medicamento sobre otro sin que existan evidencias de que en realidad es el mejor medicamento para esa patología. También tiene carácter subjetivo la preferencia por los pacientes de un lugar sobre otro y el cuidado que tengan de su salud así como la preferencia por un tipo de medicamento. Entre los objetivos puede considerarse la distancia y recursos que debe utilizar la población así como los costos de cada tratamiento sin que exista fundamento confiable para aplicar el más costoso.

Existen factores subjetivos que pueden disminuir la efectividad de un tratamiento. Si no se orienta adecuadamente por el especialista o el paciente no cumple lo indicado el resultado no coincide con el esperado. Para el caso del asma bronquial, por ejemplo, no es lo mismo un tratamiento profiláctico adecuado de acuerdo al sistema de atención primaria que atender con urgencia al paciente en el cuerpo de

guardia de un hospital. Por otra parte, las cardiopatías isquémicas generalmente no se tratan en el sistema de atención primaria, los pacientes acuden directamente a hospitales o al Instituto de Cardiología; se trata de distancias diferentes para el paciente y preferencias diferentes por un medicamento de los cardiólogos e internistas que además son especialistas mejor preparados que los del sistema de atención primaria.

Seguidamente se muestra un ejemplo didáctico asociado al campo de la Economía de la Salud. Se quiere evaluar la preferencia de los residentes en un área poblacional sobre el lugar para el tratamiento de cierta patología. Se realizan encuestas entre los pacientes y se obtiene la siguiente información:

	Tratamiento en el lugar I	Tratamiento en el lugar II	Tratamiento en el lugar III	Tratamiento en el lugar IV
Distancia al lugar	0.7	0.7	0.68	0.9
Satisfacción de la población	0.65	0.5	0.7	0.6
Efectividad del tratamiento	0.8	0.75	0.7	0.9

El valor máximo 0.68 corresponde a la columna 3 lo cual indica que las preferencias de esa población por el tratamiento de esa patología es en el lugar III.

Tercer Problema: Agrupamiento de regiones geográficas de acuerdo a indicadores negativos de salud

Nuestro sistema de salud, dado su carácter gratuito y de alcance para toda la sociedad siempre debe trabajar bajo el principio de superar cada año los niveles alcanzados pero disminuyendo los costos respecto al año anterior.

El problema que aquí se ilustra tributa a ese objetivo. Para fijar ideas consideremos varias regiones geográficas, por ejemplo consideremos a los municipios del país que son 168 y un conjunto formado por N indicadores negativos de salud.

La siguiente tabla recoge la información inicial:

	Indicador 1	Indicador 2	Indicador 3	.....	Indicador N
Municipio 1	0.9	0.7	0.34	.....	0.76
Municipio 2	0.43	0.34	0.43	.....	0.87
Municipio 3	0.64	0.56	0.98	.....	0.45
.
.
Municipio 168	0.56	0.87	0.65	.....	0.12

Cada indicador puede evaluarse según escalas o criterios diferentes, esto no es un problema ya que se puede lograr que la información de cada columna se mantenga entre cero y uno dividiendo por el valor del indicador más grande. Además puede mantenerse el criterio de que valores próximos a uno significan lo peor para ese indicador mientras que valores próximos a cero indican que en ese indicador el municipio está mejor.

Si se toma un umbral para cada indicador (no necesariamente el mismo umbral para todos), entonces la matriz anterior se convierte en una matriz de ceros y unos ya que se coloca el valor uno si se supera al umbral y el valor cero si es menor que el umbral.

La siguiente tabla muestra la idea básica del agrupamiento:

	A	B	C	D	E
a	1	1		1	1
b		1		1	
c	1		1		1
d					1

Se trata de un ejemplo didáctico de 4 municipios con 5 indicadores negativos de salud. Entre los algoritmos para el agrupamiento se expone uno muy sencillo recogido en la bibliografía como parte de la llamada Teoría de las Afinidades ² y que consiste en asociar todos los subconjuntos de municipios con los indicadores. En este caso se tienen las asociaciones siguientes:

El significado de las afinidades es el siguiente: El municipio a tiene los indicadores negativos A, B, D y E. Los municipios a y b tienen los indicadores negativos B y D etc. Nótese que los grupos no necesariamente son disjuntos y esto es una fortaleza de este método ya que por ejemplo los municipios a y b se asocian con B y D mientras que a y c se asocian con A y E. El valor práctico de este enfoque es enorme ya que si se conocen las causas de varios indicadores negativos que actúan conjuntamente entonces puede trabajarse para eliminar esas causas. Puede también enfocarse en el otro sentido, es decir si se conocen las características del grupo de municipios entonces se pueden realizar inferencias sobre el grupo de indicadores negativos asociados.

CONSIDERACIONES FINALES

La aplicación de estas herramientas no resulta habitual en tareas de gestión del Sistema Nacional de Salud por lo que este trabajo pretende motivar y divulgar entre sus especialistas la aplicabilidad también en tareas de gestión propias de este sector.

Con el trabajo se ha querido mostrar a un nivel elemental las posibilidades de aplicación de herramientas conocidas de la llamada Matemática en condiciones de incertidumbre para problemas asociados al Sistema Nacional de Salud en cuanto a toma de decisiones se refiere.

Estas herramientas no requieren un tratamiento matemático muy complejo y resultan válidas siempre que se requiera combinar información medible y objetiva con información subjetiva. La bibliografía que se recomienda contiene los métodos y algoritmos esenciales para desarrollar variadas aplicaciones.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1 Eisenberg M, Berkowitz B. El modelo Big6 para la solución de problemas de información. En: Diplomado de Gestión de la Información en Salud. Módulo I; 2005. Disponible en : <http://www.eduteka.org/Tema9.php>

2 Gil Aluja J. "Elementos para una teoría de la decisión en la incertidumbre". Editorial Milladoiro España 1999.

3 Kaufmann A., Gil Aluja J. "Técnicas operativas de gestión para el tratamiento de la incertidumbre" Editorial Hispano Europea S. A. 1987.

4 Kaufmann A., Gil Aluja J. "Introducción de la teoría de los subconjuntos borrosos a la gestión de las empresas" Editorial Milladoiro España 1993

5 Colectivo de autores. Centro para el Desarrollo de la Farmacoepidemiología. "Programa Nacional de Medicamentos V versión".La Habana, 2007. Disponible en: http://www.sld.cu/galerias/pdf/servicios/medicamentos/programa_nacional_de_medicamentos_2007.pdf