

SISTEMA DE ADMINISTRACION DE REGÍMENES DE INSULINA BASADO EN LÓGICA DIFUSA

*Miguel Hernández Bolaños
Israel Rivera Zárate, CIDETEC
Carlos Aquino Ruíz, ESIME Culhuacán*

Resumen

Se propone un sistema capaz de brindar un apoyo al paciente diabético dado el gran desconocimiento que la población tiene respecto a esta enfermedad. La base de conocimientos se ha tomado gracias a la asesoría de médicos y laboratoristas clínicos. El sistema inteligente utiliza como motor de inferencia lógica difusa dadas sus características de manejo de incertidumbre. Este proyecto permitirá llevar un registro preciso de los niveles de diferentes parámetros sanguíneos de un paciente así como generar representaciones gráficas y estadísticas de control de forma que permita apoyar en la prevención y toma de decisiones oportunas de la diabetes.

1. Aspectos generales

Partimos de que existen sistemas dentro de los cuales está el del artículo "*A Neural Network Approach in Diabetes Management By Insulin Administration*" (Un enfoque de red neuronal en el manejo de la diabetes por la administración de insulina), es uno de los que propone como salida del sistema el manejo de dosis en la administración de la insulina.

Este artículo fue desarrollado por instituciones médicas europeas, y avalado por la Organización Mundial de la Salud (OMS). Asimismo, considerando que hay muy poca información médica sobre aspectos prácticos de esta cuestión, entonces dichos médicos en base a la experiencia desarrollaron sus propias reglas para el ajuste de la dosis y especificación de regímenes de insulina. Este trabajo investiga la aplicación de un enfoque de redes neuronales para el desarrollo de un prototipo de sistema para clasificación de conocimiento en cuanto a regímenes de insulina. Los factores que participan en la toma de decisiones son tipo de diabetes, la edad del paciente, tratamiento actual, el perfil de la glucosa, actividad física, consumo de alimentos, y deseable un control de glucosa en sangre. El sistema fue entrenado con 100 casos y probados en 100 casos de pacientes, teniendo una certeza del 92 % de los casos.

Adicionalmente tomando como referencia la Norma Oficial Mexicana para el manejo del paciente diabético (NOMMD), la cual fue hecha por médicos especialistas y desde luego avalada por las autoridades de la salud, dicha norma específica una serie de recomendaciones como: dieta, actividad física, dosificación de insulina, etc., que el paciente debe seguir para cuidar de su salud.

Asimismo, tomando el artículo de referencia contra la NOMMD se observa que cumple con lo establecido para la población mexicana. Esto debido a que se apega a lo establecido en la OMS.

2. Variables generales

El artículo de referencia indica el uso de las siguientes variables de entrada del sistema:

- Diabetes (desconocido, tipo 1, tipo 2).
- Edad del paciente.
- Lo que el paciente está acostumbrado a tomar (desconocido, pastillas, insulina).
- Condiciones especiales (embarazo, cirugía, infecciones).
- Síndrome de dawn (sí, no).

- Diabetes inestable (sí, no).
- Perfil de la glucosa (mañana, tarde, noche, noche / desconocido, hiperglucemia, normal, hipoglucemia).
- Actividad física (por la mañana, mediodía, tarde-noche, noche / no-desconocido, sedentaria, ligera, pesada).
- Ingestión de alimentos (desayuno, almuerzo, merienda, cena).
- Deseable control de la glucosa en la sangre (regular, buena, muy buena).

De estas variables, se escogieron dos de ellas como las más significativas, esto fue en base a la Norma Oficial Mexicana para el manejo de la diabetes y en consideración también por la asesoría de médicos.

3. Regímenes de insulina

1. Insulina de acción rápida en combinación con insulina de acción intermedia, administrada dos veces al día antes de los alimentos.
2. Insulina de acción rápida en combinación con insulina de acción intermedia, administrada antes del desayuno y la insulina de acción rápida, administrada antes de la comida por la noche e insulina de acción intermedia, administrada a la hora de dormir.
3. Insulina de acción rápida, administrada tres veces al día e insulina de acción intermedia, administrada a la hora de acostarse.
4. Insulina de acción intermedia, administrada una vez al día.

En este trabajo se ha identificado los diez factores más significativos, donde cada uno puede tomar diferentes valores, y emplea una red neuronal basada en un algoritmo backpropagation (propagación hacia atrás). Esta red además de proporcionar una herramienta genérica de clasificación de información, proporciona los nuevos conocimientos en la administración de regímenes de insulina.

La propuesta planteada para el proceso es emplear la lógica difusa, donde los sistemas basados en lógica difusa combinan variables de entrada definidas en términos de conjuntos difusos, por medio de grupos de reglas que producen uno o varios valores de salida; donde hay que recalcar que si se usan más de dos variables complica su funcionamiento (ver capítulo de lógica difusa) ya que la tabla de inferencia crece en n^2 donde n es el número de funciones de membresía.

4. Definición de las variables del sistema

Por lo anterior se hace la siguiente aproximación:

- Variable 1: Perfil glusémico.
- Variable 2: Perfil de ingesta.

Donde el perfil glusémico comprende los eventos de hipoglucemia e hiperglucemia presentados durante el día y queda acotado a un rango de concentraciones de 0 a 280 mg/dl de glucosa en sangre. Ver Figura No. 1. Valores glusémicos de los eventos. El entero tomado es el de la media geométrica.

Asimismo, el perfil de ingesta comprende los eventos de: desayuno, almuerzo, comida y cena reportados en el artículo y queda acotado a un intervalo de 0 a 8 ingestas. Ver Figura No. 2.

De acuerdo con la Norma Oficial Mexicana de la diabetes, el número máximo de ingestas de porciones de 1500 Kcal de un paciente diabético corresponde con 8 unidades. Por lo tanto, la información reportada en el artículo de referencia que muestra de forma afirmativa o negativa la ingesta de hasta 4 comidas sugiere una correspondencia donde el valor máximo calórico asciende hasta un equivalente de 12000 Kcal. De tal forma que la variable 2: perfil de ingesta queda acotada a un universo de 0 a 8 unidades equivalentes.

Cabe mencionar que con base en los resultados reportados en el artículo, se observa que la edad y actividad física no causan una diferencia significativa en la asignación del régimen de insulina, por lo cual en este trabajo no son considerados.

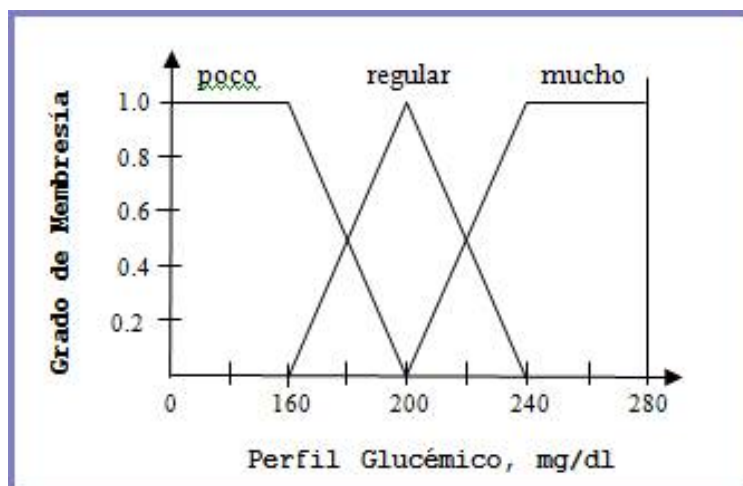


Figura 1: Funciones de membresía para la V1: perfil glucémico.

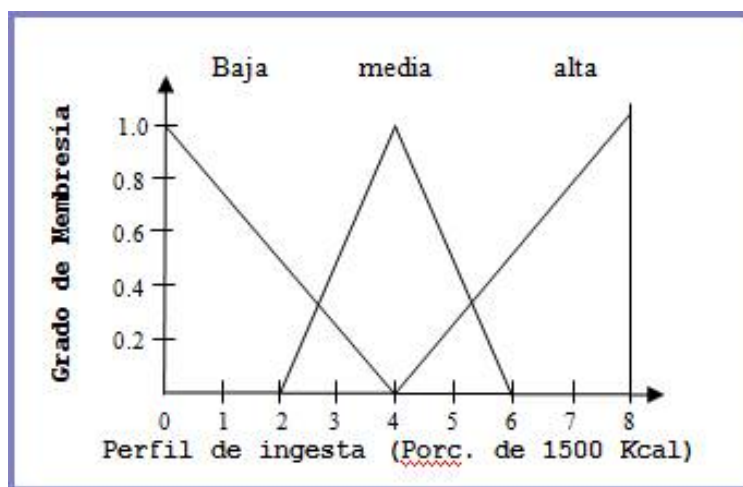


Figura 2: Funciones de membresía para la V2: perfil de ingesta.

5. Variables de salida del sistema

Debido a que existen 4 regímenes de administración de insulina se realizó la siguiente asignación del rango para la variable, como se observa en la Figura No. 3.

Figura 3: Regímenes de insulina.

6. Análisis de inferencia

El mecanismo de inferencia difusa son las reglas que como ya se ha comentado se construyen de la forma:

SI ... ANTECEDENTE 1 Y ANTECEDENTE 2 ... ENTONCES ... CONSECUENTE

Donde los antecedentes corresponden con las variables de entrada y los consecuentes corresponden a su vez con las variables de salida.

Las VARIABLES DE ENTRADA del sistema son las dos variables (Variable 1, perfil de ingesta y Variable 2, perfil glicémico), donde estas variables engloban a varios eventos, ya descritos anteriormente. Por otro lado, los consecuentes o cuatro salidas corresponden con los regímenes de administración de insulina.

Asimismo, este sistema fue revisado por médicos y laboratoristas del Laboratorio de Análisis Clínicos y Microbiológicos Montecristo de Chalco, Estado de México, quienes estuvieron de acuerdo con lo estipulado en el artículo de referencia, además considerando lo establecido por la Norma Oficial Mexicana para el manejo de la diabetes, se planteó la Tabla No. 1 de inferencia difusa, que se observa a continuación.

Cuadro 1: Inferencia difusa.

V1/V2	poco	regular	mucho
baja	R1	R2	R3
media	R2	R3	R4
alta	R3	R4	R4

V1: perfil glicémico, V2: perfil de ingesta.

7. Descripción del programa

El programa comprende las tres etapas del sistema basado en lógica difusa: fuzificación, mecanismo de inferencia y desfuzificación. Cada sección se describe a continuación:

7.1. Fuzificación

El programa solicita las dos variables de entrada a través del ingreso de los puntos representativos de tres funciones de membresía de cada una de las variables.

Para la función de membresía trapezoidal se solicitan los puntos a , b , c y d como se observa en la Figura No. 4.

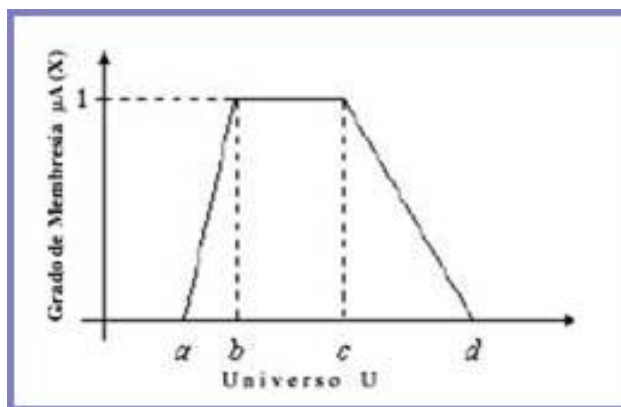


Figura 4: Función de membresía trapezoidal.

Asimismo, para la función de membresía triangular, el programa solicita los puntos a , X_c y b como se observa en la Figura No. 5.

7.2. Evaluación de las reglas

Se propuso un arreglo lineal para almacenar las reglas difusas y se hace un recorrido de forma adecuada a la tabla de inferencia para obtener el grado de verdad de las funciones de membresía de la salida.

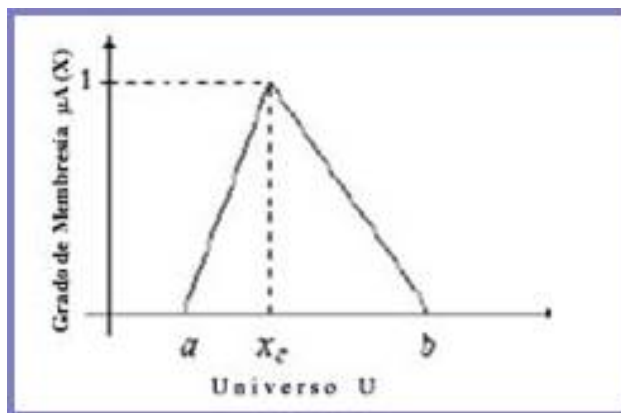


Figura 5: Función de membresía triangular.

El método para evaluar el grado de verdad de las reglas es el mín-máx, donde se toman los valores mínimos de verdad de los antecedentes y el valor máximo en los consecuentes.

7.3. Desfuzificación

Una vez obtenidos el grado de verdad de las funciones de membresía de la variable de salida se aplicó el método del Centroide. Este método consiste en obtener un promedio del peso de los consecuentes o variables de salida.

8. Pruebas y resultados

Primero se debe establecer si la relación entre las variables de entrada del sistema (v_1 y v_2) es de tipo lineal o bien no lineal; para ello fue necesario probar el sistema con ambas funciones de membresía lineales y no lineales.

Las pruebas se dividieron en 3 etapas:

1. El establecimiento de las funciones de membresía lineales: trapezoidal y triangular donde se corroboró la eficacia en la generación de los valores de verdad contra las funciones de membresía tipo gaussianas que representan conductas no lineales.

Procedimiento: Considerando la variable de salida obtenida, se estimaron los valores de posicionamiento en el intervalo del cero al cuatro.

Además, se aplicó el criterio del MSE (error cuadrático medio) y tomando como referencia los resultados obtenidos en el artículo, los cuales se observan en la Tabla No. 2.

Cuadro 2: Parámetros generales.

Case No.	DM type	Age	Special	Previous Rx	Target	Dawn	Unstable	BG-bre	BG-lun	BG-din	BG-bed	PA-mor	PA-afé	PA-nig	FI-bre	FI-lun	FI-din	FI-bed	Regimen No.
1	1	20	n	i	vg	n	n	n	hi	hi	hi	hi	l	—	y	y	y	y	4
2	1	20	n	i	vg	n	n	nl	nl	nl	nl	h	—	—	y	y	y	y	3
3	1	35	n	i	vg	y	n	lo	nl	nl	nl	s	—	—	y	n	y	y	2
4	1	25	n	i	vg	y	n	hi	lo	nl	hi	—	—	h	y	n	n	y	2
5	1	45	n	i	g	y	y	hi	hi	hi	hi	s	—	—	y	y	y	y	3
6	1	50	n	i	g	n	n	nl	nl	nl	nl	h	h	—	y	n	y	n	2
7	2	40	y	i	vg	n	y	hi	hi	hi	hi	h	—	—	y	y	y	y	4
8	2	80	y	i	vg	n	n	hi	hi	nl	nl	s	—	—	y	y	y	y	4
9	2	45	n	t	vg	n	n	nl	nl	nl	nl	s	s	—	y	y	y	y	3
10	2	50	n	t	vg	y	n	hi	lo	nl	lo	s	—	—	y	n	y	n	2

Donde cada uno de los parámetros se describen en la Tabla No. 3.

Parámetros	Valores	Explicación
Tipo de DM (DM type)	Tipo 1 (1), tipo 2 (2)	Tipo de Diabetes mellitus
Edad (Age)	Número	Edad en años
Casos especiales (Special case)	Sí (s), no (n)	Casos especiales: embarazo, cirugía e infecciones
Régimen previo (Prev. Tx)	Insulina (i), tabletas (t)	Régimen previo administrado
Meta (target)	Malo (f), bien (g), muy bien (vg)	Control de la diabetes
Dawn	Sí (s), no (n)	Síndrome de dawn
Inestable (Unstable)	Sí (s), no (n)	Diabetes inestable
GS-des (BG-Bre)	Normal (nl), hiperglucemia (al), hipoglucemia (ba)	Glucosa en sangre - desayuno
GS-alm (BG-lun)	Normal (nl), hiperglucemia (al), hipoglucemia (ba)	Glucosa en sangre - almuerzo
GS-com (BG-din)	Normal (nl), hiperglucemia (al), hipoglucemia (ba)	Glucosa en sangre - comida
GS-cen (BG-bed)	Normal (nl), hiperglucemia (al), hipoglucemia (ba)	Glucosa en sangre - cena
AF-mañ (PA-mor)	Sedentario (s), ligero (l), fuerte (f)	Actividad física - mañana
AF-tar (PA-aft)	Sedentario (s), ligero (l), fuerte (f)	Actividad física - tarde
AF-noc (PA-nig)	Sedentario (s), ligero (l), fuerte (f)	Actividad física - noche
IA-des (FI-bre)	Sí (y), no (n)	Ingesta alimentos - desayuno
IA-alm (FI-lun)	Sí (y), no (n)	Ingesta alimentos - almuerzo
IA-com (FI-din)	Sí (y), no (n)	Ingesta alimentos - comida
IA-cen (FI-bed)	Sí (y), no (n)	Ingesta alimentos - cena

- En la segunda etapa se ajustaron los rangos de las funciones de membresía, donde en el caso de las funciones lineales se realizaron variaciones en las pendientes y del número de funciones de membresía.

Cuadro 4: Resultados obtenidos para diferentes números de funciones de membresía lineales.

Número de funciones de membresía	Número de reglas a evaluar	MSE (%)
3	9	12
5	25	12
7	49	20

Cabe aclarar que los diferentes valores del MSE que se obtuvieron al variar el número de funciones de membresía lineales resultaron menores para un número de funciones de membresía igual a 3.

Además, se observa que al ocurrir que el número de funciones de membresía es igual tanto para la variable 1 como en la variable 2 de entrada, el número de reglas a evaluar crece en orden n^2 . Por lo que un criterio a considerar será un número mínimo de funciones de membresía, lo cual implica también una menor complejidad del sistema.

Por otra parte, respecto a las funciones no lineales se modificó el centro de las campanas gaussianas, los rangos, la desviación estándar, así como el número de funciones de membresía gaussianas.

Cuadro 5: Resultados obtenidos para diferentes números de funciones de membresía no lineales.

Número de funciones de membresía	Número de reglas a evaluar	MSE (%)
3	9	18
5	25	20
7	49	25

También se observa que ante el uso de 3 o 5 funciones de membresía, el error cuadrático medio resulta de similar magnitud e inclusive con un valor más bajo en el uso de las funciones de membresía lineales respecto a las funciones no lineales o gaussianas.

Por lo anterior, se puede concluir que el sistema puede operar eficazmente empleando un número máximo de tres funciones de membresía por variable de entrada y siendo éstas de tipo lineales, es decir, trapezoidales y triangulares.

9. Validación del Sistema

Finalmente, este Sistema Experto de apoyo en el tratamiento y control de la diabetes fue sometido a prueba con 40 pacientes por médicos del Laboratorio de Análisis Clínicos y Microbiológicos Montecristo de Chalco, Estado de México, quienes analizaron cada uno de los regímenes de administración de insulina obtenidos por el Sistema, en base a los perfiles glucémicos y alimenticios de cada paciente, dándonos la validación de dichos resultados. En la Tabla 6 se observan los datos de 10 pacientes evaluados.

Paciente	V1 Perfil glucémico			V2 Perfil alimenticio				Régimen SE	V
	Hipoglucemia	Normal	Hiper glucemia	Desayuno	Almuerzo	Comida	Cena		
1	0	1	3	Sí	Sí	Sí	Sí	3	
2	0	2	2	Sí	Sí	No	Sí	2	
3	1	2	1	Sí	Sí	Sí	No	2	
4	0	3	1	Sí	Sí	No	Sí	1	
5	0	2	2	No	Sí	Sí	Sí	2	

10. Referencias Bibliográficas

[1] A Neural Network Approach in Diabetes Management by Insulin Administration. G. Gogou, N. Maglaveras, B. V. Ambrosiadou, D. Goulis, and C. Pappas. Journal of Medical Systems, Vol. 25, No. 2, 2001.

[2] Castillo, E., Gutiérrez, J.M. and Hadi, A.S. (1997) Expert Systems and Probabilistic Network Models. Springer Verlag, New York. Versión castellana publicada por la Academia de Ingeniería (1998).

[3] Pearl, J. (1988) Probabilistic Reasoning in Intelligent Systems: Networks of Plausible Inference. Morgan Kaufmann, San Mateo, CA.

[4] Jensen, F.V. (1996) An Introduction to Bayesian Networks. Springer-Verlag, New York.