



Acta Universitaria
ISSN: 0188-6266
actauniversitaria@gmail.com
Universidad de Guanajuato
México

Sistema experto difuso para el control metabólico en pacientes con diabetes mellitus tipo 2

Meza-Palacios, Ramiro; Aguilar-Lasserre, Alberto A.; Ureña-Bogarín, Enrique L.; Vázquez-Rodríguez, Carlos F.; Posada-Gómez, Rubén; González Huerta, Magno A.

Sistema experto difuso para el control metabólico en pacientes con diabetes mellitus tipo 2

Acta Universitaria, vol. 28, núm. 2, 2018

Universidad de Guanajuato, México

Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=41655593008>

DOI: <https://doi.org/10.15174/au.2017.1561>



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional.

Sistema experto difuso para el control metabólico en pacientes con diabetes mellitus tipo 2

Fuzzy expert system for metabolic control in patients with type 2 diabetes mellitus

Ramiro Meza-Palacios ramiro.meza.palacios@hotmail.com

Instituto Tecnológico de Orizaba, México

Alberto A. Aguilar-Lasserre

Instituto Tecnológico de Orizaba, México

Enrique L. Ureña-Bogarín

Instituto Mexicano del Seguro Social, México

Carlos F. Vázquez-Rodríguez

Instituto Mexicano del Seguro Social., México

Rubén Posada-Gómez

Instituto Tecnológico de Orizaba, México

Magno A. González Huerta

Instituto Tecnológico de Orizaba., México

Acta Universitaria, vol. 28, núm. 2, 2018

Universidad de Guanajuato, México

Recepción: 22 Octubre 2016

Aprobación: 13 Noviembre 2017

Publicación: 07 Junio 2018

DOI: <https://doi.org/10.15174/au.2017.1561>

Redalyc: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=41655593008>

Resumen: El objetivo de estudio fue desarrollar un *Sistema Experto Difuso* (SED) que ayude a los médicos a evaluar el *control metabólico* en pacientes con Diabetes Mellitus tipo 2 (DM2). En esta investigación, se realizaron pruebas de normalidad a 90 datos en dos variables, posteriormente a los datos se les aplicaron intervalos de confianza (IC) para la media. En los resultados se emplearon 60 pruebas con la experiencia de los médicos, los resultados fueron comparados con los obtenidos por el SED; se observa que el SED acierta en el 93.33% de los casos. La *metodología de superficie de respuesta* advierte que los factores *Edad*, *IMC* y *Estrés psicológico* tienen más impacto en el estudio. El *control metabólico* en pacientes con DM2 es una tarea complicada para los médicos porque es afectado por múltiples factores de riesgo, por esta razón, es fácil caer en tratamientos erróneos. Este problema incluye incertidumbre, por lo tanto, un SED es ideal para hacerle frente.

Palabras clave: Control metabólico, diabetes mellitus tipo 2, metodología de superficie de respuesta, sistema experto difuso.

Abstract: The objective of this study was to develop a Fuzzy Expert System (FES) to help doctors evaluate the metabolic control in patients with Type 2 Diabetes Mellitus (T2DM). In this research work, normality tests were performed on 90 data in two variables. Later, confidence intervals (CI) were applied on the data for estimating the mean. Sixty tests were performed on the results, using the expert team's knowledge, and they were compared with those estimated by the FES using the same cases. It was observed that the system succeeded in up to 93.33% of the cases. Response surface methodology shows that the variables Age, BMI and Psychological stress had a greater impact in this study. In conclusion, Metabolic control in patients with T2DM is a complicated work for doctors, because it implies multiple risk factors; for this reason, it is easy to prescribe wrong treatments. This problem includes uncertainty and inaccuracy, so the use of a FES is recommended to address this problem. INTRODUCCIÓN

Keywords: Metabolic control, type-2 diabetes mellitus, response surface methodology, fuzzy expert system.

INTRODUCCIÓN

La Asociación Americana de Diabetes (ADA, por sus siglas en inglés) advierte que la diabetes mellitus (DM) se caracteriza por ser un conjunto de enfermedades metabólicas que resultan de niveles de glucosa altos, la acción inadecuada de la insulina o ambos (ADA, 2005).

La DM está en aumento, su aparición es temprana, el diagnóstico es tardío y su tratamiento muchas veces es inadecuado (Lerman *et al.*, 2009). Cuando un paciente es diagnosticado ya han pasado varios años desde el inicio de la diabetes, el cual pasa por un periodo silencioso desde el punto de vista clínico, pero no micro o macro vascular (Salmón, Sánchez-Reyes, Chiquete, De La Luz & Herrera, 2011).

La diabetes mellitus tipo 2 (DM2) comprende el 90% de las personas con diabetes en el mundo. La Organización Mundial de la Salud (WHO, por sus siglas en inglés) indica que la incidencia se debe, en gran parte, al exceso de peso corporal y la inactividad física (WHO, 2016). Sus complicaciones crónicas representan la primera causa de mortalidad general. Aunado a esto, los diabéticos suelen ser víctimas de la incomprensión por la sociedad, la familia y el médico (Malacara, 2003).

El Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS), a través de sus Unidades de Medicina Familiar (UMF), proporciona atención médica a pacientes con DM en el módulo DiabetIMSS. Este programa incluye consultas médicas y sesiones educativas durante un año con el objetivo de controlar a los pacientes (Figuerola *et al.*, 2014).

En los últimos años, las clínicas de salud del IMSS han registrado un fuerte incremento de enfermos con DM2, este incremento ha hecho más abrumador el diagnóstico de nuevos pacientes, provocando que el médico especialista en DM2 necesite ayuda para establecer el diagnóstico y terapia adecuada.

El desarrollo de la Inteligencia Artificial (IA) en la medicina moderna se ha relacionado con el diseño de programas que tratan de ayudar a los médicos a formular un diagnóstico y tomar decisiones terapéuticas. El método de solución para este problema es la aplicación de sistemas expertos basados en la *Lógica Difusa* (LD), rama de la IA.

La idea básica de un sistema experto (SE) es que la experiencia de un humano en un campo particular sea transferida a la computadora. Este conocimiento se almacena y los usuarios pueden recurrir a la computadora para recibir consejos específicos (Liao, 2005). La LD es una lógica plurivalente especial que aborda el fenómeno de la vaguedad y el desarrollo de herramientas para el modelado a través de grados de verdad tomados de una escala ordenada, es útil para tomar decisiones racionales en presencia de incertidumbre (Novák, 2006). La combinación de un sistema experto con una técnica difusa da lugar a un sistema experto difuso (SED); este último es un sistema computacional que puede emular la capacidad de expertos médicos para tomar decisiones en su área de conocimiento.

Ahora bien, el SED utiliza el modelo tipo Mamdani; este modelo de inferencia difusa utiliza la teoría de conjuntos difusos y se basa en reglas IF – THEN, se compone de los siguientes tres bloques:

a) *Fuzificación*: Transforma un conjunto no difuso en un conjunto difuso. Juega un papel importante en la definición de beiges lingüísticos como: más o menos, ligeramente, algo, mucho, etc., (Zadeh, 1975).

b) *Mecanismo de inferencia*: Toma a los niveles de pertenencia de las variables de entrada y apoyado en las reglas de inferencia genera una salida.

c) *Defuzificación*: Es una transformación entre los datos difusos y reales. La salida del sistema difuso pueda interpretarse dando valores concretos (Rondeau, Ruelas, Levrat, & Lamotte, 1997).

La *metodología de superficie de respuesta* analiza problemas en los que una respuesta de interés recibe la influencia de diversas variables y donde el objetivo es optimizar esta respuesta (Montgomery, 2012).

Investigaciones a nivel mundial demuestran el beneficio de utilizar distintos sistemas expertos y sistemas difusos relacionados con la diabetes.

Meza *et al.*, (2017) proponen un SED que estima el nivel de control de nefropatía que tienen los pacientes con DM2, el sistema tiene una tasa de éxito de 93.33%.

Hashemi & Javidnia (2012) presentan cuatro subsistemas expertos, en ellos se estima el peso corporal, el uso de energía diaria, los requerimientos de macronutrientes y los niveles nutricionales, los niveles de hiperglucemia e hipoglucemia, así mismo se propone un autocontrol de la glucemia en personas con diabetes.

Jha & Singh (2012) desarrollan un SE para el tratamiento de la diabetes por medios naturales (masaje, herbario/nutrición apropiada, acupuntura, gemas) utilizando la aplicación Visual Prolog 7.3.

Lee, Wang & Hagra (2010) proponen un modelo ontológico difuso que realiza recomendaciones dietéticas inteligentes en personas diabéticas.

Lee & Wang (2011) proponen un SED que determina el tipo de diabetes que una persona padece (de acuerdo con cuatro tipos de diabetes). Los valores de precisión de este sistema son del: 91.2%, 90.3%, 81.7%, 77.3%.

Nnamoko, Arshad, England & Vora (2013) desarrollan un SE que recomienda al paciente una combinación de terapias referentes al estilo de vida y el tratamiento farmacológico.

Tadić, Popović & Đukić (2010) presentan un SE que permite elegir un tratamiento terapéutico-clínico en cada paciente, pero también modela el efecto de los fármacos que le fueron recetados al paciente.

Polat & Güneş (2007) implementan un sistema que mejora la precisión del diagnóstico de la diabetes, la precisión del sistema es de 89.47%.

Zarate, Romero & Cruz (2008) presentan un sistema que permite 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.

Los trabajos de investigación antes expuestos permiten conocer las ventajas que se podrían obtener con un SED y han aportado información vital referente a la aplicación de sistemas expertos en diabetes.

Es a partir de los antecedentes previamente mencionados que se desprende el objetivo del presente estudio: Desarrollar un Sistema Experto Difuso (SED) que ayude a los médicos a evaluar el control metabólico en pacientes con DM2.

MATERIAL Y MÉTODOS

Esta investigación se sometió a la aprobación del Comité Local de Investigación y Ética en Investigación en Salud 3102, Hospital General Zona número 8 (H. Gral. Zona Núm. 8), Veracruz Sur, México, con número de registro R-2014-3102-26. Todos los procedimientos están de acuerdo con lo estipulado en el Reglamento de la Ley General de Salud en materia de investigación para la salud.

Elección de variables

A juicio de los médicos especialistas, las variables más importantes de este estudio es la variable no modificable *Edad*, su incremento aumenta el riesgo de enfermar de DM2. El siguiente conjunto de variables fueron aquellas orientadas a prevenir la enfermedad si son controladas, por ejemplo: el *Índice de masa corporal* (IMC), el *Estrés psicológico* y el *Tabaquismo*. Por último, se eligieron variables como el *Ejercicio*, el *Tratamiento farmacológico* y la *Dieta*, porque generan beneficios en la salud, mejoran la calidad de vida de los pacientes, además de aliviar los síntomas y prevenir las complicaciones. En conjunto, estas variables integran a los factores de riesgo más importantes que elevan o disminuyen la posibilidad de tener un *control metabólico* bueno.

En este estudio solo se incluyeron siete variables de entrada, la razón, es que estas variables fueron las más significativas para predecir el descontrol, no se incluyeron variables que presentan manifestación clínica como la hemoglobina glucosilada y la glucosa plasmática preprandial, etc., porque los datos de estas variables estaban censurados y en otros casos no existía una medición correcta.

Las variables de entrada del SED se describen a continuación:

- i. *Edad*: Esta variable demográfica está asociada con el desarrollo de DM2, sobre todo cuando se incrementa la edad del paciente (Chew, Ghazali, Ismail, Haniff & Bujang, 2013). De acuerdo a la experiencia de los médicos especialistas y las bases de datos en el módulo DiabetIMSS, los diagnósticos de diabetes en las personas jóvenes son frecuentes a partir de los 25 años, después de los 40 años las personas son consideradas adultos y posterior a los 50 años se considera a las personas como adultos mayores.
- ii. *IMC*: La obesidad es un problema creciente debido a los malos hábitos alimenticios, puede generar un alto riesgo de mortalidad y morbilidad en enfermedades con DM2 (Meigs *et al.*, 2006).

iii. *Tabaquismo*: Fumar es un factor modificable de riesgo para desarrollar DM2 (Willi, Bodenmann, Ghali, Faris, & Cornuz, 2007).

iv. *Estrés psicológico*: Incrementa el riesgo de desarrollar DM2, ya que se relaciona con el aumento en el nivel glucémico (Surwit *et al.*, 2002). La clasificación del nivel de estrés en los pacientes se realiza con la escala de Holmes de la siguiente manera: si la suma de los acontecimientos es menor a 150 se considera ausente el riesgo de enfermar, si la suma supera 299 el riesgo se vuelve moderado, y por último, si se superan los 300 puntos el riesgo se vuelve alto (Holmes & Rahe, 1967).

v. *Ejercicio*: La actividad física reduce el riesgo de progresión de la intolerancia en la glucosa en la DM2 en un 58% (Sigal, Kenny, Wasserman, Castaneda & White, 2006). Los médicos especialistas y nutriólogos del módulo DiabetIMSS recomiendan a los pacientes caminar 30 min al día, consideran que hacerlo entre 0 y 2 días a la semana es una actividad física baja; cuando la actividad física se realiza entre 2 y 4 días se considera regular; y cuando la actividad física es buena, estiman que se lleva a cabo entre 4 y 7 días a la semana.

vi. *Tratamiento farmacológico*: Un buen control de la glucemia en la DM2 se puede conseguir con una buena estrategia terapéutica que incluya la administración de medicamentos orales e insulina (DeFronzo, 1999).

vii. *Dieta*: Una dieta adecuada para un paciente con DM2 debe incluir fibra, frutas, vegetales y granos recomendables, evitando el consumo de grasas y carbohidratos simples, ya que elevan el riesgo de padecer diabetes y sus complicaciones (Malacara & Garay-Sevilla, 2009).

La variable de salida es la siguiente:

Control metabólico: Esta variable estima el grado de control metabólico que tiene un paciente diabético. Este indicador fue establecido por los médicos especialistas, se utilizan los parámetros en una escala de 0 a 100 poniendo de manifestó la confianza que este evento en particular pueda afectar o no en determinado grado. Los parámetros utilizados se describen a continuación: Descontrolado (de 0 a 20), Control Bajo (de 20.01 a 50), Control Aceptable (de 50.01 a 85) y Control Bueno (de 85.01 a 100).

Desarrollo de la arquitectura de las variables

La arquitectura de las variables se estableció de dos formas. En la primera, se utilizaron Intervalos de Confianza (IC) (Meza *et al.*, 2017) para la media al determinar los rangos que van a ser usados por los conjuntos difusos en las variables Edad e IMC; y en la segunda, la arquitectura se basa en el uso de los parámetros extraídos de guías de práctica clínica (GPC) (IMSS, 2009), fundamentos en el cuidado del paciente diabético (ADA, 2015) y la experiencia de un equipo de médicos especialistas.

Desarrollo de una variable por IC. Cuando un experimento cuantitativo se lleva a cabo, rara vez ocurre que los datos se obtengan de toda la población de interés. Por lo general, se selecciona una muestra de estudio de esa población (Sim & Reid, 1999). La muestra autorizada fue de 90 datos y se aplicaron pruebas de normalidad a estos datos.

El análisis de las pruebas de normalidad se realizó en el *software* MINITAB 14. Las pruebas de normalidad Anderson-Darling y Ryan-Joiner fueron utilizadas. Para asumir normalidad, el *p-value* debe ser mayor a 0.05 y el coeficiente de correlación cercano a 1. Como ejemplo, a continuación se muestran los parámetros para la prueba realizada en la variable *Edad*: $\mu = 57.51$, $\sigma = 9.484$, $n = 90$, y el *p-value* = 0.407. En estas dos pruebas las restricciones se cumplieron.

Una vez realizadas las pruebas, el siguiente paso consistió en aplicar los IC a estas dos variables (*Edad e IMC*). Como ejemplo se cita el caso de la variable *Edad*. La etiqueta lingüística joven tiene un parámetro $n = 9$, $\mu = 40.11$, $\sigma = 4.31$, $\alpha = 0.05$, y $t_{\alpha, n-1} = 2.306$. Los límites obtenidos por IC son el *Limite Unilateral Inferior* = 36.8, y el *Limite Unilateral Superior* = 43.43. En la tabla 1 se observan los parámetros de las etiquetas lingüísticas *adulto* y *mayor* de esta variable.

Tabla 1 Variables del modelo control metabólico

<div> <div>Tabla 1</div> <div>Variables del modelo control metabólico</div> </div>			
Variables de entrada	Etiqueta lingüística	Función de pertenencia	Intervalos
Edad	Joven	Trapezoidal	(25, 36.8, 43.43, 45)
	Adulto	Trapezoidal	(40, 52.8, 54.34, 59)
	Mayor	Trapezoidal	(50, 64.9, 67.92, 90)
IMC	Normal	Trapezoidal	(18.5, 21.29, 23.9, 24.9)
	Sobrepeso	Trapezoidal	(24, 26.82, 27.65, 29.9)
	Obesidad	Trapezoidal	(28, 32.39, 33.57, 39.9)
Tabaquismo	No	Singleton	1
	Si	Singleton	2
Estrés psicológico	Ausente	Trapezoidal	(0, 60, 90, 150)
	Moderado	Trapezoidal	(140, 195, 235, 299)
	Alto	Trapezoidal	(285, 340, 380, 450)
Ejercicio	Bajo	Triangular	(0, 0, 1, 2)
	Regular	Trapezoidal	(1, 2, 3, 4)
	Bueno	Trapezoidal	(3, 4, 5, 6)
Tratamiento farmacológico	Si	Singleton	1
	No	Singleton	2
Dieta	Si	Singleton	1
	No	Singleton	2
Variable de Salida	Etiqueta lingüística	Función de pertenencia	Intervalos
Control Metabólico	Descontrol	Triangular	(0, 10, 20)
	Control bajo	Trapezoidal	(20.01, 30, 40, 50)
	Control aceptable	Trapezoidal	(50.01, 60, 70, 85)
	Control bueno	Triangular	(85.01, 90, 100)

Fuente: Elaboración propia.

Desarrollo de una variable con parámetros de las GPC, fundamentos de cuidado y la experiencia del equipo de médicos

Un análisis eficiente de cada variable en conjunto con las GPC permitió a los médicos especialistas determinar los parámetros que correspondían a cada función de pertenencia. Por ejemplo, la variable *Ejercicio* se acota entre 0 y 7 días en los que los pacientes en control deben realizar 30 min de ejercicio por día. En la función triangular *bajo* se incluyen a las personas que tienen poca actividad física, estimando que realizan entre [0, 1 y 2] días de ejercicio en la semana; en la función trapezoidal regular se considera que las personas realizan ejercicio regularmente, es decir, entre [1, 2, 3 y 4] días en la semana; finalmente en la función trapezoidal bueno, los médicos consideraron a las personas que realizan suficiente ejercicio en la semana, estimando que realizan entre [3, 4, 5 y 6] días en la semana.

En la tabla 1, se observa la arquitectura de las variables de entrada y de la variable de salida de este modelo.

Base de conocimientos (formulación de las reglas IF-THEN)

En la modelación de las variables lingüísticas se emplea la base de reglas difusas tipo Mamdani, que se enuncian de la siguiente manera:

Ejemplo 1, regla de inferencia 12:

IF *Edad es joven*, And *IMC es normal*, And *No tiene tabaquismo*, And *el Estrés está ausente*, And *el Ejercicio es bajo*, And *el Tratamiento farmacológico no lo lleva*, And *la Dieta no la cumple* THEN *El paciente tiene Control Metabólico Aceptable*.

Este modelo cuenta con 648 reglas difusas; el conjunto de reglas se validaron al 100% por los médicos especialistas, sin omitir ninguna regla o conjunto de reglas. La razón es que cada una tiene posibilidad de ocurrencia.

$TRI = Edad (3) \times IMC (3) \times Tabaquismo (2) \times Estrés\ psicologico (3) \times Ejercicio (3) \times Tratamiento\ Farmacológico (2) \times Dieta (2) = 648\ reglas\ de\ inferencia\ EC\ 1$

Dónde:

$TRI = Total\ de\ reglas\ de\ inferencia$

Pruebas realizadas con el SED

Fue necesario aplicar entrevistas a pacientes que se encuentran actualmente en control de DM2 en el módulo de DiabetIMSS. Para evaluar la confiabilidad de este sistema, se requirieron 60 pruebas.

El objetivo de las pruebas fue comprobar qué porcentaje de error o defectos podían encontrarse en este SED y, de esta manera, mejorar en lo posible sus resultados.

En la tabla 2 se observa una fracción de las pruebas realizadas con este sistema, en estas, de acuerdo con la experiencia de los médicos, se calcula el nivel de *control metabólico* que tiene cada paciente. Al final,

los resultados estimados por el equipo de médicos se comparan con los resultados obtenidos por el SED.

Tabla 2 Variables del modelo control metabólico

Pruebas	Edad (años)	IMC	Fuma	Ejerc	TF	Dieta	Control estimado por los médicos	Control estimado por el SED	ACI	
1	32	23.29	si	88	1	no	no	aceptable	aceptable	si
2	40	25.64	no	323	4	si	si	bueno	bueno	si
3	51	36.15	si	331	0	no	no	descontrol	descontrol	si
4	67	29.2	no	132	1	no	no	descontrol	descontrol	si
5	37	28.76	no	65	3	si	si	aceptable	aceptable	si
6	48	31.5	no	93	5	si	si	bajo	bajo	si
7	60	37.21	no	277	0	no	no	descontrol	descontrol	si
8	50	29.34	no	62	3	no	no	bajo	aceptable	no
9	55	31.48	no	199	2	si	si	bajo	bajo	si
10	63	34.76	no	141	1	no	no	descontrol	descontrol	si
11	69	31.57	no	120	3	no	no	descontrol	descontrol	si
12	58	22.75	no	69	5	si	si	bueno	bueno	si
13	45	33.80	si	189	0	si	si	bajo	bajo	si
14	53	25.7	no	23	3	si	si	aceptable	aceptable	si
15	70	33.33	no	195	1	no	no	descontrol	descontrol	si
16	77	32.04	si	255	2	si	si	descontrol	descontrol	si
17	39	34.66	no	57	3	si	si	bueno	bueno	si
18	56	25.44	no	129	5	no	si	aceptable	aceptable	si
19	59	33.01	no	306	0	no	no	descontrol	descontrol	si
20	41	32.55	no	97	1	no	no	bajo	bajo	si
21	35	31.53	no	149	0	si	si	aceptable	aceptable	si
22	50	25.12	si	195	3	no	no	aceptable	aceptable	si
23	46	22.42	no	405	0	no	no	bajo	aceptable	no
24	72	27.38	no	65	4	no	no	bajo	bajo	si
25	33	29.04	no	44	4	si	si	aceptable	aceptable	si
26	40	28.35	no	353	0	no	no	bajo	bajo	si
27	79	37.2	si	295	0	no	no	descontrol	descontrol	si
28	59	32.61	no	370	0	no	no	descontrol	descontrol	si
29	55	25.97	no	174	3	no	no	bajo	bajo	si
30	44	32.95	no	152	4	si	si	aceptable	aceptable	si

Abreviaturas: Ejerc = ejercicio; TF = tratamiento farmacológico; ACI = acierto.

Fuente: Elaboración propia.

Metodología de superficie de respuesta

En la superficie de respuesta de la figura 1 se observa que un buen control metabólico está influido por los parámetros de los factores de riesgo (dos variables de entrada). Si estos parámetros activan una zona óptima (colores claros) se interpreta como un buen control, en cambio si los parámetros activan una zona no optima (colores oscuros) se presenta un descontrol metabólico en los pacientes con DM2.

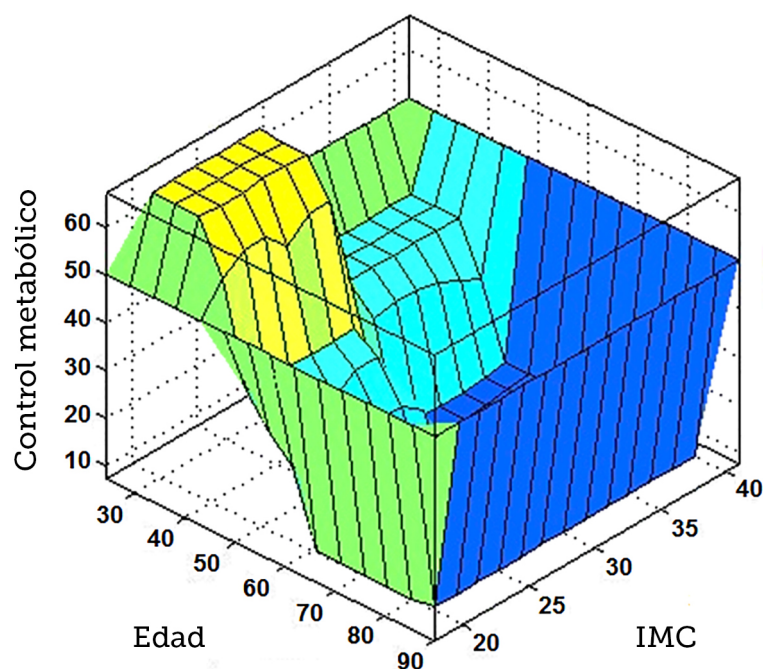


Figura 1

Superficie de respuesta con las variables Edad e IMC.

Fuente: The MathWoks Inc, 2008.

RESULTADOS

Se evaluaron 60 casos de pacientes con DM2 que acuden a *control metabólico* en el módulo DiabetIMSS. En cada prueba el equipo de médicos emite un diagnóstico del nivel de control que tiene cada paciente. Estos resultados se verifican con los resultados que se obtienen al emplear el SED (utilizando los mismos casos).

Al comparar ambos resultados, 56 de las 60 pruebas acertaron en el nivel de control que tienen los pacientes, es decir, resultaron cuatro errores en este SED y una tasa de éxito del 93.33%. En la tabla 2 se observa una fracción de las pruebas realizadas.

La certeza de este SED es muy alta, sin embargo, se podría mejorar en la clasificación de las variables bivalentes como tabaquismo, tratamiento farmacológico y dieta; ya que al tener solo dos valores en la elección el grado de certeza puede ser menor.

Se cumplió con el objetivo: *Desarrollar un SED que ayude a los médicos a evaluar el control metabólico de pacientes con DM2*. El presente sistema funciona como una herramienta tecnológica de apoyo a la toma de decisiones, sin embargo, la decisión final es tomada por el médico especialista en diabetes.

De acuerdo a un análisis global con *la metodología de superficie de respuesta*, se observó que las variables con más impacto en el *control metabólico* son la *Edad*, el *IMC* y el *Estrés psicológico*. Estos factores desempeñan un papel vital para el control o descontrol de los pacientes.

DISCUSIÓN

Esta propuesta innovadora utiliza un conjunto de factores de riesgo adecuados para el módulo DiabetIMSS como variables de entrada que no se han utilizado aún en sistemas similares.

Los sistemas antes expuestos permiten realizar diagnósticos; otros aportan prevención, tratamiento y, finalmente, hay sistemas con características muy específicas para apoyo al paciente diabético. Los trabajos analizados anteriormente, en su mayoría, se crearon con la experiencia de los médicos especialistas; sin embargo, en este trabajo se presenta un enfoque integrado que reúne información de las GPC e incluye parámetros estadísticos para apoyar la arquitectura de dos variables del SED, resultando en un modelo más eficiente y construido con diferentes tipos de información. La ventaja competitiva de este SED radica en que permite estimar de manera muy simple un nivel de *control metabólico*, haciendo amigable su manipulación con los usuarios.

Este SED apoya el proceso de toma de decisiones en el *control metabólico*, reduciendo el grado de subjetividad inmersa en los factores de riesgo. Con esto, se puede reducir la falta de control, el número de tratamientos erróneos, los falsos positivos y falsos negativos que se presentan en las clínicas del IMSS.

En la atención de la DM2 existen todavía deficiencias en el desempeño de las actividades del médico general o especialista. Lo anterior deriva de la falta de unificación de criterios entre los diferentes médicos a pesar de existir GPC encaminadas a uniformar criterios para el diagnóstico y control de esta enfermedad.

Si se llevará una adecuada aplicación de las GPC y, además, se aplicará la utilización de un SED como el que se propone en este trabajo sería una herramienta fundamental para cumplir con las tareas y objetivos anteriormente expuestos. El inconveniente de este sistema es que no tan fácilmente podría ser aceptado por los médicos generales o especialistas, sobre todo el personal que es renuente al uso de la tecnología actual. Es importante proponerlo a los altos mandos médicos y administrativos, ya que el beneficio de aplicarlo superaría con creces la inversión de esta herramienta que reeditaría en un mejor *control metabólico* en pacientes con DM2.

Este SED podría incluirse como una parte fundamental que mejore la atención de calidad hacia el paciente con DM2. Después de haber validado este SED, en futuros trabajos convendría mejorar el indicador de confianza; por ejemplo, incluyendo en este estudio a variables como la hemoglobina glucosilada, la glucosa plasmática preprandial, la tensión arterial, entre otras. Es importante tomar en cuenta que si se incrementa el número de variables de entrada también se volvería más robusto el sistema y en consecuencia aumentaría la complejidad del modelo y de los cálculos; por lo tanto, es importante analizar exhaustivamente si es conveniente o no agregar más variables. Otra recomendación es incluir información más puntual en las variables de entrada como el *Tratamiento farmacológico*, la *Dieta* y el *Tabaquismo*, la razón es que solo cuentan con dos funciones

singleton (Si y No), es decir, solo existen dos grados de verdad que pueden afectar el coeficiente de confianza. Por último, también sería conveniente adaptarlo al diagnóstico, al tratamiento y al control de otras enfermedades de alto impacto en la sociedad actual.

CONCLUSIONES

El *control metabólico* en la DM2 es una tarea complicada para los médicos debido a que afectan múltiples factores de riesgo, por esta razón, es fácil caer en falsos controles y tratamientos erróneos. El *control metabólico* tiene un grado de incertidumbre inmerso en los factores de riesgo que se puede modelar con esta herramienta. Asimismo, permite unificar los criterios de *control metabólico*.

Este SED trabaja con diferentes tipos de información, la experiencia de los médicos, las GPC y el uso de IC. A juicio de este equipo de trabajo, los resultados más importantes son la tasa de éxito del SED y las variables que predicen el *control metabólico*.

Un análisis eficiente con la *metodología de superficie de respuesta* puede sugerir a cada paciente cómo mantenerse estable para evitar daños irreversibles a ciertos órganos del cuerpo.

Sería erróneo interpretar que la aplicación de este SED para el control metabólico podría sustituir la experiencia y conocimientos de un médico especialista o un equipo de médicos. El SED también puede ser de gran ayuda en pequeños poblados o áreas económicamente marginadas donde no llega un médico especialista en diabetes. Además, funciona como una herramienta de entrenamiento para nuevos médicos. Con esta técnica, los médicos pueden hacer frente al descontrol metabólico de la DM2.

Agradecimientos

Se agradece al Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS) por el apoyo proporcionado, así como al grupo de expertos que laboran en el módulo DiabetIMSS de la Unidad de Medicina Familiar número 1, turno matutino, de Orizaba, Veracruz, México. Gracias por todas las facilidades y por el acceso a la información necesaria.

REFERENCIAS

- American Diabetes Association (ADA). (2005). Diagnosis and classification of diabetes mellitus. *Diabetes Care*, 28, 37-42.
- American Diabetes Association (ADA). (2015). Foundations of care: Education, nutrition, physical activity, smoking cessation, psychosocial care, and immunization. *Diabetes Care*, 38(1), 20-30. doi: 10.2337/dc15-S007
- Chew, B., Ghazali, S., Ismail, M., Haniff, J., & Bujang, M. (2013). Age ≥ 60 years was an independent risk factor for diabetes-related complications despite good control of cardiovascular risk factors in patients with

- type 2 diabetes mellitus. *Experimental Gerontology*, 48(5), 485-491. doi:10.1016/j.exger.2013.02.017
- DeFronzo, R. (1999). Pharmacologic therapy for type 2 diabetes mellitus. *Annals of Internal Medicine*, 131(4), 281-303. doi: 200007040-00016 [pii]
- Figueroa, M., Cruz, J., Ortiz, A., Lagunes, A., Jiménez, J., & Rodríguez, J. (2014). Estilo de vida y control metabólico en diabéticos del programa DiabetIMSS. *Gaceta Medica de Mexico*, 150(1), 29-34.
- Hashemi, B., & Javidnia, H. (2012). An approach for recommendations in self management of diabetes based on expert system. *International Journal of Computer Applications*, 53(14), 6-12.
- Holmes, T., & Rahe, R. (1967). The social readjustment rating scale. *Journal of Psychosomatic Research*, 11(2), 213-218.
- Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS). (2009). Diagnóstico y tratamiento de la diabetes mellitus tipo 2. México: Instituto Mexicano del Seguro Social.
- Jha, S., & Singh, D. (2012). Development of knowledge Base expert system for natural treatment of diabetes disease. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 3(3), 44-47.
- Lee, C., & Wang, M. (2011). A fuzzy expert system for diabetes decision support application. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, part B (Cybernetics)*, 41(1), 139-153.
- Lee, C., Wang, M., & Hagra, H. (2010). A type 2 fuzzy ontology and its application to personal diabetic-diet recommendation. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 18(2), 374-395. doi: 10.1109/TFUZZ.2010.2042454
- Lerman, I., López, A., Villa, A., Escobedo, M., Caballero, E., Velasco, M., & Rull-Rodrigo, J. (2009). Estudio piloto de dos diferentes estrategias para reforzar conductas de autocuidado y adherencia al tratamiento en pacientes de bajos recursos económicos con diabetes tipo 2. *Gaceta Médica de México*, 145(1), 15-19.
- Liao, S. (2005). Expert system methodologies and applications-a decade review from 1995 to 2004. *Expert Systems with Applications*, 28(1), 93-103. doi: 10.1016/j.eswa.2004.08.003
- Malacara, J. (2003). El enigma de las causas de la diabetes mellitus Tipo 2. *Acta Universitaria*, 13(1), 5-17.
- Malacara, J., & Garay-Sevilla, M. (2009). Los conceptos en evolución sobre diabetes. *Acta Universitaria*, 19(2), 5-10.
- Meigs, J., Wilson, P., Fox, C., Vasan, R., Nathan, D., Sullivan, L., & D'Agostino, R. (2006). Body mass index, metabolic syndrome, and risk of type 2 diabetes or cardiovascular disease. *The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism*, 91(8), 2906-2912. doi: 10.1210/jc.2006-0594
- Meza, R., Aguilar, A., Ureña, E., Vázquez, C., Posada, R., & Trujillo, A. (2017). Development of a fuzzy expert system for the nephropathy control assessment in patients with type 2 diabetes mellitus. *Expert Systems with Applications*, 72, 335-343. doi: 10.1016/j.eswa.2016.10.05.
- Montgomery, D. (2012). *Design and analysis of experiments* (8th ed.). New York: Wiley.

- Nnamoko, N., Arshad, F., England, D., & Vora, J. (2013). Fuzzy expert system for type 2 diabetes mellitus (T2DM) Management using dual inference mechanism. AAAI Spring Symposium series. Technical Report
- Novák, V. (2006). Which logic is the real fuzzy logic?. *Fuzzy Sets and Systems*, 157(5), 635-641. doi: 10.1016/j.fss.2005.10.010
- Polat, K., & Güneş, S. (2007). An expert system approach based on principal component analysis and adaptive neuro-fuzzy inference system to diagnosis of diabetes disease. *Digital Signal Processing*, 17(4), 702-710. doi: 10.1016/j.dsp.2006.09.005
- Rondeau, L., Ruelas, R., Levrat, L., & Lamotte, M. (1997). A defuzzification method respecting the fuzzification. *Fuzzy Sets and Systems*, 86(1997), 311-320.
- Salmón, G., Sánchez, L., Chiquete, E., De La Luz, J., & Herrera, A. (2011). Registro multicéntrico internacional para evaluar la práctica clínica en pacientes con diabetes tipo 2: subanálisis de la experiencia en México. *Gaceta Médica de México*, 147, 226-33.
- Sigal, R., Kenny, G., Wasserman, D., Castaneda, C., & White, R. (2006). Physical activity/exercise and type 2 diabetes: A consensus statement from the american diabetes association. *Diabetes Care*, 29(6), 1433-1438. doi: 10.2337/dc06-9910
- Sim, J., & Reid, N. (1999). Statistical inference by confidence intervals: issues of interpretation and utilization. *Physical Therapy*, 79(2), 186-195.
- Surwit, R., Van Tilburg, M., Zucker, N., McCaskill, C., Parekh, P., Feinglos, M., Edwards, C., Williams, P., & Lane, J. (2002). Stress management improves long-term glycemic control in type 2 diabetes. *Diabetes Care*, 25(1), 30-34. doi: 10.2337/diacare.25.1.30
- Tadić, D., Popović, P., & Đukić, A. (2010). A fuzzy approach to evaluation and management of therapeutic procedure in diabetes mellitus treatment. *Yugoslav Journal of Operations Research*, 20(2010), 99-116.
- Willi, C., Bodenmann, P., Ghali, W., Faris, P., & Cornuz, J. (2007). Active smoking and the risk of type 2 diabetes: a systematic review and meta-analysis. *Journal of the American Medical Association*, 298(22), 2654-2664.
- World health organization (WHO). (2016). Diabetes. Recuperado el 19 de septiembre del 2016 de <http://www.who.int/en/news-room/fact-sheets/detail/diabetes>
- Zadeh, L. (1975). The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning-I. *Information Sciences*, 8(3), 199-249. doi: 10.1016/0020-0255(75)90036-5
- Zarate, I., Romero, P., & Cruz, J. (2008). Base de conocimientos del monitoreo de parámetros sanguíneos. *Polibits*, 37, 65-70.

Información adicional

Cómo citar:: Meza-Palacios, R., Aguilar-Lasserre, A. A., Ureña-Bogarín, E. L., Vázquez-Rodríguez, C. F., Posada-Gómez, R., & González Huerta, M. (2018). Sistema experto difuso para el control metabólico en pacientes con diabetes mellitus tipo 2. *Acta Universitaria*, 28(2), 67-74. doi: 10.15174/au.2018.1561