

Sistema Experto Basado en Lógica Difusa Tipo 1 para Determinar el Grado de Riesgo de Preeclampsia*

A Type-1 Fuzzy Logic-Based Expert System Model for Pre-eclampsia Risk Assessment

Artículo de Investigación Científica - Fecha de Recepción: 30 de noviembre de 2013 - Fecha de Aceptación: 10 de mayo de 2014

Edna Rocio Núñez Flórez

Estudiante Ingeniería de Sistemas. Universidad de la Amazonia. Florencia (Colombia). ed.nunez@udla.edu.co

Raul Vergara Ortiz

Estudiante Ingeniería de Sistemas. Universidad de la Amazonia. Florencia (Colombia). r.vergara@udla.edu.co

José Joaquín Bocanegra García

Ingeniero de Sistemas. Universidad de la Amazonia. Florencia (Colombia). jose.bocanegra@udla.edu.co

Para citar este artículo / To reference this article:

E. R. Núñez Flórez, R. Vergara Ortiz, and J. J. Bocanegra García, "Sistema Experto Basado en Lógica Difusa Tipo 1 para Determinar el Grado de Riesgo de Preeclampsia," *INGE CUC*, vol. 10, no. 1, pp. 43–50, 2014.

Resumen: La preeclampsia es una enfermedad que pueden desarrollar las mujeres en estado de embarazo, y según el DANE es responsable del 35 % de las muertes maternas en Colombia. Ante esta situación, el objetivo de este artículo es presentar un sistema experto (SE) basado en lógica difusa tipo I que permite identificar el nivel de riesgo de sufrir la enfermedad, y posibilita un diagnóstico precoz y la vigilancia estricta de la mujer gestante, aspectos fundamentales para prevenir las complicaciones asociadas a la preeclampsia. Para llevar a cabo la investigación se realizó la revisión bibliográfica para conocer los factores de riesgo que generan la enfermedad; con apoyo de un médico se establecieron los factores que se deben tener en cuenta (variables de entrada) y la base de reglas, los cuales son los componentes principales del SE. Posteriormente se realiza la implementación del software con las herramientas MySQL como base de datos y Java como lenguaje de programación. Para la validación de tomaron 30 historias clínicas suministradas por la Secretaría de Salud Departamental del Caquetá. El resultado del SE arrojó un 94.17 % de efectividad con un margen de error del 5.83 %, comparados con los resultados proporcionados por el especialista que analizó las historias clínicas.

Palabras clave: Embarazo, Enfermedad, Lógica, Sistemas, Ingeniería, Salud.

Abstract: Preeclampsia is a disease pregnant women can develop and according to DANE (National Administrative Department of Statistics), it is responsible for 35% of maternal deaths in Colombia. In this context, the aim of this paper is to present an expert system (ES) based on type I fuzzy logic to identify this disease risk levels, and outmost, enable early diagnosis and close monitoring of pregnant women, essential aspects concerning the prevention of complications associated to pre-eclampsia. In order to carry out the research, a literature review was conducted to know the risk factors that generate this disease. With the help of a physician, medical factors regarding this condition were considered (input variables), and the rule base was established; which are the main components for ES. Subsequently, the software implementation was performed with tools like MySQL database and Java programming language. To validate, 30 medical records were used, which were provided by the Ministry of Health Department of Caquetá. The result of ES showed a 94.17 % success rate with a margin of error of 5.83 %, compared to the results provided by the specialist who analyzed the records.

Keywords: Disease, Health, Logic, Pregnancy, Engineering, Systems.

* Artículo de investigación científica derivado del proyecto de investigación "El desarrollo dirigido por modelos y su aplicación en la Universidad de la Amazonia". Fecha de inicio: 12 de agosto de 2013- Fecha de finalización: 20 de diciembre de 2013.

I. INTRODUCCIÓN

La preeclampsia es una enfermedad que se desarrolla durante la etapa de gestación. Se caracteriza por el aumento de la presión arterial, la pérdida de proteínas, la formación de edemas, entre otros síntomas, los cuales se presentan después de la vigésima semana de gestación. Esta enfermedad afecta entre el 5 y el 10 % de las mujeres embarazadas a nivel mundial y es una de las principales causas de mortalidad de madre e hijo. La preeclampsia complica al 30 % de las gestaciones múltiples, al 30 % de los embarazos en mujeres diabéticas y al 20% de las gestaciones en las mujeres con hipertensión crónica [1].

En Colombia, según estadísticas del Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), la preeclampsia es responsable del 35 % de las muertes maternas.

En el caso específico del departamento de Caquetá se han presentado diversos casos de muertes maternas inducidas por el embarazo, que engrosan la lista nacional. Según el DANE, estos casos se han presentado de la siguiente manera: 5 en 2009, 11 en 2010, 4 en 2011, 7 en 2012 y 3 en el primer semestre de 2013 [2] (Fig. 1).

Aunque estas cifras no superan el 5 % del total de muertes en las mujeres gestantes en el departamento para cada uno de los periodos mencionados anteriormente, genera preocupación que este problema de carácter social no haya sido controlado en su totalidad por parte de las entidades prestadoras de servicios de salud.

En la búsqueda de la disminución de los casos de muerte materna las autoridades médicas del país han definido varias estrategias [3], entre las que se puede mencionar:

- La disponibilidad de los servicios de salud.
- El mejoramiento de programas de promoción y prevención.
- El aumento de la capacitación a los profesionales de la salud que ofrecen atención materna y perinatal.

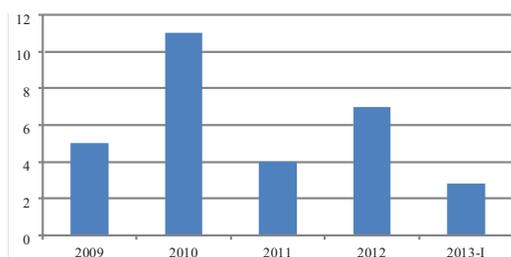


Fig. 1. Cantidad de muertes maternas inducidas por el embarazo en el Caquetá [2]

Además de las estrategias mencionadas, en Colombia el Control Prenatal es un servicio ofrecido por las entidades prestadoras de salud, en el cual se supervisa el estado del embarazo de las gestantes con

el objetivo de controlar de manera anticipada alguna anomalía existente, y se recomienda que se inicie antes de la octava semana de gestación.

Sin embargo, con todas las estrategias establecidas por las autoridades de salud, y como lo reflejan las cifras mostradas en la Fig. 1, los casos de muerte materna, y más concretamente en el departamento de Caquetá, no se han logrado disminuir en su totalidad por diversos factores que afectan la región, como lo son: (i) la distancia entre el lugar de residencia de las mujeres gestantes y los centros de atención médica; (ii) la distancia entre las cabeceras municipales y los centros de referencia del departamento; (iii) los costos que implica realizar una remisión; y (iv) la falta de especialistas, más concretamente en el área rural, para atender de manera oportuna a toda la población.

Ante esta problemática, y tomando como referencia otras áreas del conocimiento, se ha comprobado que el uso de sistemas expertos (SE) contribuye a la eficiencia y rapidez en las respuestas que se requieren para la toma de decisiones.

Los SE han sido implementados en diversos campos de acción, como la educación, la inteligencia militar, la aeronáutica, la agricultura, la arqueología, el derecho, la geología, la industria electrónica, la informática, las telecomunicaciones, entre otros [4].

En este orden de ideas, se considera que un SE puede ser una herramienta útil para la problemática presentada, debido a que este tipo de sistemas son mecanismos que permiten simular el comportamiento de un especialista humano frente a un problema de su competencia en un determinado campo, agrupando los conocimientos y reglas de decisión del especialista para la toma de la mejor decisión.

Este sistema experto permitirá que miembros de la comunidad médica sin una amplia experiencia en el área gineco/obstétrica puedan determinar de forma ágil y oportuna si una mujer gestante está en riesgo de desarrollar la enfermedad.

En síntesis, el objetivo de este trabajo es el desarrollo de un sistema experto basado en lógica difusa tipo I, que contribuya en la determinación del nivel de riesgo de desarrollar la preeclampsia.

En ese sentido los aportes originales de este artículo son:

- La definición de las variables de entrada y salida del SE. Estas variables se detallan en la sección II-A.
- La creación de la base de reglas, tomando como referencia el conocimiento de un especialista en el tema de la preeclampsia. La base de reglas se detalla en la sección II-B.
- La construcción del sistema final. Este desarrollo software se presenta en la sección III.
- La validación del sistema mediante el análisis de la información de un conjunto de historias clínicas de mujeres gestantes. Los resultados de esta validación se incluyen en la sección IV.

II. METODOLOGÍA

El desarrollo de la aplicación está basado en la estructura del modelo de lógica difusa [5], el cual establece cuatro componentes principales, que se aprecian en la Fig. 2.

El primer elemento es el Fusificador, el cual tiene como objetivo convertir valores reales en valores difusos. En este proceso se asignan grados de pertenencia a cada una de las variables de entrada con relación a los conjuntos difusos previamente definidos, mediante el uso de las funciones de pertenencia asociadas a los conjuntos difusos [5].

Posteriormente, la salida del Fusificador pasa al Motor de Inferencia, en el cual se realiza el proceso de razonamiento difuso, mediante el cual se examinan las reglas una por una, y cuando se cumple la condición de la regla, esta es activada para seleccionar las reglas posibles por satisfacer el problema.

Para desarrollar el proceso del Motor de Inferencia se necesita una Base de Reglas, las cuales son un conjunto de reglas que en un momento determinado son activadas dependiendo de la entrada del sistema. El experto debe desarrollar todo un conjunto de estas reglas (tantas como sean necesarias) para lograr una descripción adecuada del sistema que se va a controlar. Cada regla tiene la forma de una declaración SI - ENTONCES. La parte SI contiene una o más condiciones llamadas “antecedentes”; la parte ENTONCES contiene una o más acciones llamadas “consecuencias”.

Finalmente, el encargado de convertir los valores difusos obtenidos en el motor de inferencia a un valor real, que posteriormente será el resultado del sistema experto, es el Defusificador. Para llevar a cabo la función de este componente se utilizan métodos matemáticos simples, como el método del centroide, el método del promedio ponderado, entre otros.

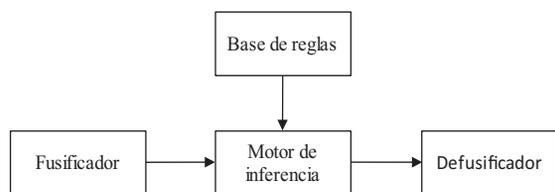


Fig. 2. Componentes del modelo de lógica difusa

Fuente: Autores

La implementación del sistema inteligente se dividió en dos fases principales. En la primera fase se llevó a cabo el proceso de investigación con el objetivo de definir las variables de entrada, las cuales alimentarán el sistema inteligente y permitirán conocer el grado de importancia que tienen al generar el nivel de riesgo de desarrollar la enfermedad. En la segunda fase de la implementación se realizó la estructuración del sistema experto y el desarrollo de la herramienta software.

Como resultado del proceso de investigación se logró concluir que en la preeclampsia existen varios factores de riesgo, los cuales se denominaron “variables” y fueron expuestos a los especialistas en el tema para definir aquellos que se deberían considerar, especificar sus rangos normales y señalar su grado de importancia relativa. La tabla I muestra el resultado de la revisión y la lista de cada una de las variables.

Teniendo en cuenta que se pretende reducir el tiempo en que se emiten los resultados del examen de preeclampsia y que estos sean eficaces, no se incluyen en la investigación variables como: la cohabitación sexual, el cambio de pareja, los antecedentes familiares, las infecciones, la recurrencia, entre otras; debido a que para estas variables no existe un campo de medición definido, lo cual dificulta la definición de su universo en discurso.

Según lo anterior, la selección de las variables con las que el sistema va a trabajar y valoradas por el especialista fueron: (i) índice de masa corporal, (ii) edad, (iii) presión arterial sistólica y (iv) presión arterial diastólica.

A continuación se presenta la definición de cada una de las variables de entrada que se van a utilizar en el sistema experto con sus respectivas etiquetas lingüísticas, el tipo de función de pertenencia, el valor lingüístico, el universo en discurso, y finalmente los puntos de corte de cada uno de los conjuntos.

TABLA I. CONJUNTO DE VARIABLES PERTENECIENTES AL DIAGNÓSTICO [6]

N°	Nombre	Valor o Rango Normal	Importancia
1	Edad materna	10 a 45 años	100
2	Primipaternidad	No	50
3	Paridad	>1	100
4	Antecedentes personales	No	70
5	Antecedentes familiares	No	70
6	Edemas	No presenta	80
7	Presión arterial sistólica	Entre 121 a 129	100
8	Presión arterial diastólica	Entre 80 a 84	100
9	Raza	Tipos	50
10	Estrato socioeconómico	1 a 5	70
11	Fumadora	No	30
12	Alcohólica	No	30
13	Índice de masa corporal	19 a 25	70
14	Retraso mental	No presenta	10
15	Proteinuria en 24 horas	0	80
16	Uroanálisis	No presenta	30
17	Embarazo múltiple	No	80
18	Madre soltera	No	10
19	Semana de gestación	>20	10
20	Nivel escolar	Clasificación	30

A. Variables de Entrada y Salida

1) *Índice de Masa Corporal (IMC)*: es un valor que se determina con base en el peso y estatura de una persona. La ecuación matemática usada para calcular el valor del IMC es dividir el peso entre la estatura al cuadrado. Un resultado comprendido entre 17 y 19 es considerado ideal.

El Índice de Masa Corporal (Peso/Talla) es calculado durante los controles del embarazo. Los valores inferiores al punto de corte ideal identifican deficiente nutrición preconcepcional y los valores superiores identifican sobrepeso preconcepcional. La importancia del IMC radica en que define el grado nutricional de la embarazada: una deficiente nutrición identifica un riesgo alto de generar un parto prematuro; un sobrepeso es señal de presencia de un riesgo de preeclampsia u otras enfermedades asociadas [7].

Para el desarrollo del sistema difuso, el universo en discurso de esta variable estará comprendido entre cero (0) y cincuenta (50); con otras palabras, son los valores reales que puede tomar al momento de digitar el dato de entrada para realizar el examen; asimismo, el número de valores lingüísticos o conjuntos difusos que tiene esta variable es cuatro (4).

En la tabla II se presenta los conjuntos que conforman la variable lingüística IMC y el tipo de conjunto correspondiente para cada uno. Los conjuntos en los cuales se ha dividido la variable IMC son: Delgada (Alfa), Ideal (Trapezoide), Sobrepeso (Trapezoide), Obesa (Omega). En la tabla III se detallan los límites de los conjuntos de la variable lingüística IMC que se han establecido para el desarrollo del sistema difuso.

Tabla II. CONJUNTOS DE IMC

Valor lingüístico	Función de pertenencia
Delgada	Alfa
Ideal	Trapezoide
Sobrepeso	Trapezoide
Obesa	Omega

Fuente: Autores

Tabla III. LÍMITES DE LOS CONJUNTOS DE IMC

Valor Lingüístico	Puntos de corte sobre el Universo en Discurso			
Delgada	18	20		
Ideal	17	19	25	27
Sobrepeso	24	26	29	31
Obesa	29	30		

Fuente: Autores

En la Fig. 3 se representa la función de pertenencia de los conjuntos de la variable IMC teniendo en cuenta sus respectivos puntos de corte. Por ejemplo, el conjunto Ideal tiene cuatro puntos (como se expresa en la tabla III), formando así una función trapezoidal.

Es necesario resaltar que con las siguientes variables, tanto de entrada como de salida, se obtiene la misma representación de las funciones de pertenencia de los conjuntos lingüísticos.

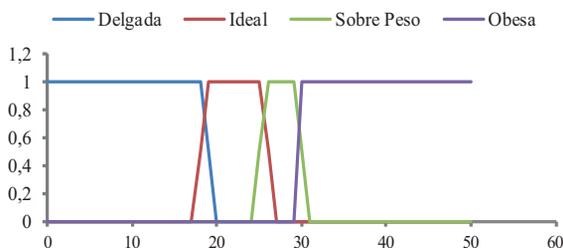


Fig. 3. Representación de los conjuntos de IMC
Fuente: Autores

2) *Presión Arterial*: es la fuerza que permite llevar la sangre a cada una de las partes del cuerpo. Al tomar la presión arterial se conoce el resultado de la presión que ejerce la sangre contra las paredes de las arterias. El resultado de la lectura de la presión arterial se da en dos cifras: sistólica y diastólica [8].

Para efectos del sistema difuso, cada valor de la presión arterial (sistólico y diastólico) se contará como entrada del sistema, debido a la importancia que presentan como sintomatología de la enfermedad.

La presión sistólica es la presión que ejerce la sangre durante la contracción del corazón. Cuando el corazón se contrae, el ventrículo izquierdo expulsa 75 cc de sangre hacia la arteria aorta. Cuando la sangre entra en la arteria aorta y en sus ramas, empujadas por la sístole ventricular, se produce un aumento de la tensión arterial en forma transitoria.

Este aumento de tensión arterial coincide con cada latido del corazón. La presión sistólica aumenta linealmente a partir de los 30 años, y puede ser considerada un factor de riesgo cardiovascular que mayoritariamente se produce en personas ancianas [9].

El universo en discurso o el rango de valores reales admitidos por el sistema que se ha establecido para esta entrada se encuentra en el rango de cincuenta (50) y doscientos treinta (230), y el número de conjuntos difusos en que se ha dividido la variable es tres (3).

La presión diastólica corresponde al valor mínimo de la tensión arterial cuando el corazón está en diástole o entre latidos cardíacos. Esta presión depende fundamentalmente de la resistencia vascular periférica, y se refiere al efecto de distensibilidad de la pared de las arterias, es decir, el efecto de presión que ejerce la sangre sobre la pared del vaso [10].

Al igual que en la variable anterior, el número de conjuntos difusos es tres (3), debido a que estas dos variables están relacionadas. El universo en discurso para esta variable está definido entre treinta y cinco (35) y ciento treinta y cinco (135).

En la tabla IV se presentan los conjuntos que conforman las variables lingüísticas Presión Arterial Sistólica y Presión Arterial Diastólica, y el tipo de

conjunto correspondiente para cada uno. Los conjuntos en los cuales se ha dividido estas variables son: Óptima (Alfa), Normal (Trapezoide) y Normal Alta (Omega). En la tabla V se observan los límites de los conjuntos para la Presión Arterial Sistólica y en la tabla VI se presentan los límites para los conjuntos de la variable Presión arterial Diastólica.

TABLA IV. CONJUNTOS DE PRESIÓN ARTERIAL SISTÓLICA Y DIASTÓLICA

Valor lingüístico	Función de pertenencia
Optima	Alfa
Normal	Trapezoide
Normal Alta	Omega

Fuente: Autores

TABLA V. LÍMITES DE LOS CONJUNTOS DE PRESIÓN ARTERIAL SISTÓLICA

Valor lingüístico	Puntos de corte sobre el Universo en Discurso			
Óptima	129	130		
Normal	129	130	139	140
Normal Alta	139	140		

Fuente: Autores

TABLA VI. LÍMITES DE LOS CONJUNTOS DE PRESIÓN ARTERIAL DIASTÓLICA

Valor lingüístico	Puntos de corte sobre el Universo en Discurso			
Optima	84	85		
Normal	84	85	89	90
Normal Alta	89	90		

Fuente: Autores

3) *Edad*: este indicador se obtiene de la historia clínica a partir de la fecha de nacimiento. Según estudios, la preeclampsia es más frecuente en menores de 18 años y mayores de 35, aunque algunos estudios demuestran que el riesgo se puede observar en embarazos en menores de 21 años [11].

Según el especialista consultado, se puede definir el universo en discurso para esta variable desde diez años (10), edad mínima en la que se ha presentado un caso de embarazo y cuarenta y cinco (45) como la edad máxima recomendada para que una mujer esté en estado de gestación. Teniendo en cuenta lo anterior, esta variable se clasifica en tres (3) conjuntos difusos.

En la tabla VII se presentan los conjuntos que conforman esta variable lingüística Edad y el tipo de conjunto correspondiente para cada uno. Los conjuntos en los cuales se ha dividido esta variable son: Joven (Alfa), Adulta (Trapezoide) y Mayor (Omega). En la tabla VIII se observan los límites de los conjuntos de la variable, los cuales se han establecido para el desarrollo del sistema difuso.

TABLA VII. CONJUNTOS DE EDAD

Valor lingüístico	Función de pertenencia
Joven	Alfa
Adulta	Trapezoide
Mayor	Omega

Fuente: Autores

TABLA VIII. LÍMITES DE LOS CONJUNTOS DE EDAD

Valor lingüístico	Puntos de corte sobre el Universo en Discurso			
Joven	15	18		
Adulta	14	16	35	38
Mayor	33	36	-	

Fuente: Autores

4) *Nivel de Riesgo*: la salida del sistema es el riesgo que tiene la gestante de sufrir la enfermedad. Se establece el cero (valor mínimo) como poco riesgo de sufrir la enfermedad y el diez (valor máximo) alto riesgo, delimitando así el universo en discurso de la variable de salida en tres (3) conjuntos, los cuales se muestran en la tabla IX junto con su respectivo tipo. Los conjuntos que se trabajarán son: Bajo (Alfa), Medio (Trapezoide) y Alta (Omega). Los límites de cada conjunto se encuentran expresados en la tabla X.

TABLA IX. CONJUNTOS DE NIVEL DE RIESGO

Valor lingüístico	Función de pertenencia
Bajo	Alfa
Medio	Trapezoide
Alta	Omega

Fuente: Autores

TABLA X. LÍMITES DE LOS CONJUNTOS DE NIVEL DE RIESGO

Valor lingüístico	Puntos de corte sobre el Universo en Discurso			
Bajo	3	4		
Medio	3	4	6	7
Alta	6	7	-	

Fuente: Autores

B. Base de Reglas

Para elaborar la base de reglas del sistema inteligente se realizó la combinación de cada uno de los conjuntos de las variables de entrada y con la ayuda de un médico especialista se estableció el nivel de riesgo de cada combinación. El total de reglas obtenidas fue de 108.

A continuación se exponen 3 de las 108 reglas definidas en el sistema experto, en el que se ven relacionadas las variables de entrada con uno de sus conjuntos, y como consecuente, el nivel de riesgo obtenido según las combinaciones de las entradas. Debido a la canti-

dad de reglas obtenidas, estas se publican en Google Drive y se cita el enlace en la lista de referencias [12].

- 1) Índice de Masa Corporal = Delgada AND Presión arterial sistólica = Óptima AND Presión arterial diastólica = Óptima AND Edad = Joven THEN Nivel de riesgo = Medio
- 2) Índice de Masa Corporal = Sobre Peso AND Presión arterial sistólica = Normal AND Presión arterial diastólica = Normal AND Edad = Adulta THEN Nivel de riesgo = Medio
- 3) Índice de Masa Corporal = Obesa AND Presión arterial sistólica = Normal Alta AND Presión arterial diastólica = Normal AND Edad = Adulta THEN Nivel de riesgo = Alto

III. SISTEMA SOFTWARE

La estructura del sistema experto consistió en definir una base de datos en la cual se almacenó toda la información necesaria para el funcionamiento (variables, conjuntos y reglas), y como valor agregado, llevar un registro ordenado de los exámenes que se realizan con el sistema propuesto. Como gestor de bases de datos fue elegido MySQL por sus características técnicas de rapidez y desempeño.

Para el desarrollo de la aplicación se empleó el lenguaje de programación Java y el entorno de desarrollo fue NetBeans. Debido a que la estructura del sistema experto se encuentra almacenada en MySQL fue necesario realizar la conexión con este sistema gestor de bases de datos para obtener la información necesaria para la realización de los exámenes. La arquitectura seleccionada para implementar la aplicación fue la Arquitectura de Tres Capas (presentación, lógica de negocios y acceso a datos).

En la capa de presentación se crearon las interfaces necesarias para el uso del sistema, las cuales fueron categorizadas según los requisitos del mismo:

- Gestionar Variable
- Gestionar Regla
- Gestionar Examen

En la capa de lógica de negocio se llevó a cabo la implementación de los componentes de la lógica difusa definidos en la Fig. 2, excepto el de la Base de Reglas.

Finalmente, en la capa de persistencia se almacenan los datos del sistema experto y los resultados obtenidos luego de realizar los exámenes a las mujeres en estado de gestación.

Con el objetivo de que el sistema sea adaptable al ambiente se estableció la base de reglas en esta capa con el fin de poder realizar modificaciones que sean necesarias a futuro.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Después de desarrollar el prototipo del sistema experto se adquirieron datos reales de 30 historias clínicas con la autorización de la Secretaría de Salud

Departamental con el fin de realizar las validaciones y pruebas necesarias para determinar el porcentaje de efectividad de la aplicación.

En la tabla XI se muestran 5 de los 30 datos obtenidos, se expresan las variables Índice de Masa Corporal, Presión Arterial Sistólica, Presión Arterial Diastólica y Edad (tomadas de la historia clínica) y su nivel de riesgo según el médico especialista (concepto dado por la combinación de las variables de entrada), cuyo valor se tomará como punto de referencia para hallar el margen de error con los datos obtenidos de la aplicación.

TABLA XI. DATOS DE HISTORIAS CLÍNICAS

Índice de masa corporal	Presión arterial sistólica	Presión arterial diastólica	Edad	Nivel de riesgo dado por el experto
24,6	120	80	13	2,5
19,5	125	85	14	5
18,3	140	115	15	7
27,3	120	80	16	3
18,4	130	90	17	7

Fuente: Autores

Los datos de control se ingresaron uno a uno al sistema para obtener el nivel de riesgo de cada combinación. En la Fig. 3 se muestra la primera interfaz del sistema (Realizar Examen). Se aclara que los datos observados allí son de prueba con el fin de mantener la privacidad de las pacientes.

Se debe tener en cuenta que al momento de ingresar los datos solo con seleccionar la fecha de nacimiento en el calendario, el sistema automáticamente genera la edad de la paciente. Además, al digitar el peso y estatura, el sistema se encarga de calcular el Índice de Masa Corporal.

Fig. 4. Interfaz realizar examen con datos de una historia clínica
Fuente: Autores

Después de haber ingresado los datos de control y dar clic sobre el botón “Realizar Examen”, el sistema generó el nivel de riesgo de la paciente, que fue de 8,5, como se muestra en la Fig. 4.

Así, sucesivamente, se ingresaron al sistema cada uno de los datos de control proporcionados por la Secretaría de Salud Departamental del Caquetá, y se obtuvo el nivel de riesgo de preeclampsia calculado por la aplicación.

Los resultados se muestran en la tabla XII, donde se describen los datos de control (Índice de Masa Corporal, Presión Arterial Sistólica, Presión Arterial Diastólica y Edad) que fueron suministrados por la Secre-

taría de Salud Departamental del Caquetá, el nivel de riesgo dado por el médico especialista, Nivel de riesgo dado por la Aplicación y finalmente el Grado de efectividad porcentual, que es la diferencia entre los dos valores obtenidos para cada registro. Como resultado se obtiene un promedio de efectividad del 94,17 %.

El error relativo o margen de error entre los niveles de riesgo dados por el experto y la aplicación es del 5,83 %, un resultado el cual no varía mucho de la realidad, ya que se ajusta al pensamiento del experto, dando confiabilidad en los futuros exámenes que se realicen a las pacientes beneficiadas con este aplicativo.

TABLA XII: NIVEL DE RIESGO EN PACIENTES

DATOS DE CONTROL				Nivel de riesgo dado por el experto	Nivel de riesgo dado por la aplicación	Grado de efectividad (%)
Índice de masa corporal	Presión arterial sistólica	Presión arterial diastólica	Edad			
24,6	120	80	13	2,5	2,35	94
19,5	125	85	14	6	5	83,33
18,3	140	115	15	8	7,16	89,5
27,3	120	80	16	3	2,98	99,33
18,4	130	90	17	7	6,77	96,71
28,5	120	80	18	1,5	1,5	100
25,2	120	80	18	1,5	1,55	103,33
23,1	125	85	19	1,5	1,5	100
18,4	120	80	20	1,5	1,6	106,67
26,34	120	80	20	1,5	1,5	100
21,4	120	80	21	1,5	1,5	100
26,4	120	85	22	4,5	4,23	94
22,5	120	80	23	1,5	1,5	100
24,1	120	80	24	1,5	1,5	100
24,25	120	80	25	1,5	1,5	100
23,4	120	80	27	1,5	1,5	100
19,4	120	80	28	1,5	1,5	100
18,4	120	80	29	2	1,6	80
19,3	120	80	35	3	2,45	81,67
22,6	120	80	36	1,5	1,5	100
25,2	120	80	36	3,5	3,01	86
26,5	140	90	37	8,5	7,75	91,18
24,2	120	80	38	2,5	1,85	74
29,3	120	80	39	5	5	100
21,4	135	93	39	9	8,5	94,44
22,5	120	80	40	2	1,5	75
26,3	145	90	42	8,5	8,5	100
27,1	120	80	43	6	5	83,33
28,5	130	85	43	8,5	8,5	100
24,2	120	80	44	2	1,85	92,5
				Promedio de Efectividad		94.17 %

Fuente: Autores

V. TRABAJO RELACIONADO

Durante los últimos años el desarrollo de aplicaciones basadas en lógica difusa para la toma de decisiones en el campo de la medicina ha tomado importancia, gracias a la eficacia en los resultados arrojados por este tipo de sistemas.

En [13] se plantea el uso de un sistema experto para diagnosticar la presencia del síndrome de Down en fetos. Los resultados que se obtienen con este SE son satisfactorios, debido a que es la primera vez que se reduce en un 5 % los falsos positivos en el diagnóstico de esta enfermedad durante el periodo de gestación.

En [14], los autores desarrollan un sistema experto denominado “sistema experto para ayuda en el diagnóstico de anemia” (SEADA) usando un microcomputador. La importancia de este proyecto radica en la seguridad y rapidez del diagnóstico, lo que trae reducción de costos al evitarle al paciente exámenes innecesarios, produciéndose, por ende, un tratamiento oportuno para los pacientes que padecen anemia.

De igual forma, el proyecto denominado “sistema experto para el diagnóstico de trastornos depresivos” detecta cuándo el paciente o el usuario tratado padecen un trastorno depresivo, basándose en la sintomatología asociada para diagnosticar, con una cierta antelación a lo normal, cualquier tipo de trastorno [15].

VI. CONCLUSIONES

Los ingenieros de sistemas pueden realizar aplicaciones que brinden solución a las problemáticas reales de la región, haciendo uso de la tecnología, en este caso de los sistemas expertos.

Los SE tienen cada vez mayor auge y son un punto de referencia importante en la toma de decisiones, y de notable interés al momento de implementar sistemas que realizan tareas de apoyo en diagnósticos médicos.

Con la validación del aplicativo al cual se ingresaron datos de control de historias clínicas reales se obtuvieron resultados de confiabilidad del 94 %, el cual indica que el conocimiento del médico especialista fue transferido en mayor parte y con satisfacción a la aplicación.

El sistema experto le permite a la paciente tener un diagnóstico inmediato sobre el nivel de riesgo de preeclampsia que padece, y evita que aumente el número de consultas relacionadas con esa enfermedad.

Con el sistema actual se establece un aporte a la región, a las mujeres en estado de embarazo, a las entidades prestadoras de salud, al personal médico, y contribuye a la disminución del número de muertes ocasionadas por preeclampsia.

AGRADECIMIENTOS

Los autores manifiestan su agradecimiento a la Secretaría Departamental de Salud del Caquetá por permitir el acceso a la información. A Edna Consuelo Olave Meneses, médico especialista, por su apoyo como experto en la definición de reglas. Igualmente expresan su agradecimiento a los ingenieros Elio Fabio Sánchez, César Ómar Jaramillo y al docente Jorge Enrique Basto de la Universidad de la Amazonia por sus revisiones al texto final.

REFERENCIAS

- [1] C. Agudelo y R. Pardo, “Guía de atención de las complicaciones hipertensivas asociadas con el embarazo”, *Guías de promoción de la salud y prevención de enfermedades en la salud pública*, n°14, pp. 229-260, septiembre 2012.
- [2] Departamento Administrativo Nacional de Estadística, julio, 2013. [Medio electrónico]. Disponible en: www.dane.gov.co
- [3] Secretaría Distrital de Salud, Prevención de mortalidad materna, 2013. [Medio electrónico]. Disponible en: www.saludcapital.gov.co/Paginas2/mortalidadmaterna.aspx
- [4] M. Gómez, A. Cabello y I. Ramos, “Gestión de la variabilidad en el desarrollo de Sistemas Expertos mediante técnicas de MDA”, en *memorias del VI Taller de Desarrollo dirigido por modelos-DSDM'09*, dentro de las *XIV Jornadas de Ingeniería de Software y Bases de Datos-JISBD'09*, vol. 6, n° 2, pp. 91-100, septiembre, 2009.
- [5] D. Guzmán, V. Castaño, “La lógica difusa en Ingeniería: principios, aplicaciones y futuro”, *Ciencia y tecnología* (Costa Rica), vol. 24, n° 2, pp. 87-107, agosto, 2006.
- [6] H. Vargas, *Modelo Difuso Evolutivo Aplicado al Diagnóstico Médico de la Pre-eclampsia*. Bogotá, D.C.: Universidad Distrital Francisco José de Caldas, 2013.
- [7] J. Velasco, Índice de masa corporal. Clínica Médica Internacional para reducción de peso. México, D.F., 2004.
- [8] R. G Victor, “Systemic hypertension: Mechanisms and diagnosis”, In R. O. Bonow, D. L. Mann, D. P. Zipes, and P. Libby, eds. *Braunwald's Heart Disease: A Textbook of Cardiovascular Medicine*, 9th ed., Chap. 45. Philadelphia, Pa: Saunders Elsevier, 2011.
- [9] Innatia Network S.L.U. ¿Qué es la hipertensión sistólica? CIF: ESB54649702, Orihuela, Alicante, España, 2014.
- [10] A. Méndez, “La presión arterial. Cardiología, medicina en gotas”, julio, 2010. [Medio electrónico]. Disponible en: blog.ciencias-medicas.com/archives/63
- [11] N. Quintana, D. Rey, T. Sisi, C. Antonelli y M. Ramos, “Preeclampsia”, *Revista de Posgrado de la Vía Cátedra de Medicina*, n° 133, pp. 16-20, noviembre, 2003.
- [12] R. Vergara Ortiz. (2013). Base de reglas. [Medio electrónico]. Disponible en: <https://drive.google.com/file/d/0B0EFEVvZbdT3ZHRob1B1bkpyR0U/edit?usp=sharing>
- [13] V. Soler, *Lógica difusa aplicada a conjuntos imbalances: aplicación a la detección del síndrome de Down*. Barcelona: Universidad Autónoma de Barcelona, 2007.
- [14] M. Ávila, M. Viñas, E. Mercado, A. Blanco y E. Rueda, “Inteligencia artificial. Sistema experto para ayuda en el diagnóstico de anemias (SEADA)”, *Salud Uninorte* (Barranquilla, Colombia), vol. 4-5, n° 1, 3-8, 1998.
- [15] M. Olivas y M. Dones, “Sistema experto para el diagnóstico de trastornos depresivos”, Universidad Pontificia Comillas, febrero, 2005. [Medio electrónico]. Disponible en: www.iit.upcomillas.es/pfc/resumenes/42bbe5095b837