# RISCE Revista Internacional de Sistemas Computacionales y Electrónicos

SEPTIEMBRE 2010 Número 5, Volumen 2, Año 2



RISCE Revista Internacional de Sistemas Computacionales y Electrónicos; es una publicación bimestral del Instituto Politécnico Nacional, Av. Luis Enrique Erro S/N, unidad "Profesional Adolfo López Mateos", Del. Gustavo A. Madero, C.P. 07738, México D.F. a través de la Escuela Superior de Computo; Av. Juan de Dios Bátiz S/N esquina Miguel Othón de Mendizábal. "Unidad Profesional Adolfo López Mateos". Col. Lindavista C.P. 07738, México, D. F. tel. 57296000 ext. 52000. Certificado de reserva de Derechos al uso Exclusivo del título No. 04-2008-062613190500-203, ISSN en trámite. Los artículos son responsabilidad exclusiva del autor y no reflejan necesariamente el criterio de la institución, a menos que se especifique lo contrario. Se autoriza la reproducción total o parcial, siempre y cuando se cite explícitamente la fuente.

La revista se especializa en el área de los sistemas computacionales y electrónicos; tanto en el desarrollo, como en la investigación en:

Ciencias de la Computación Cómputo educativo Cómputo Móvil Comunicaciones Disciplinas Emergentes Electrónica Física Electrónica Ingeniería de Cómputo Ingeniería de Software Innovación Tecnológica Inteligencia artificial Matemática computacional Procesamiento de señales Robótica y cibernética Sistemas de Información Tecnologías de la Información

#### Distribución

La revista cuenta con 300 ejemplares que se distribuyen en: Europa, Asía y América Hispana; mediante CD ROM y correo electrónico

#### Directorio



#### INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

DRA. YOLOXÓCHITL BUSTAMANTE DÍEZ DIRECTORA GENERAL

ING. JUAN MANUEL CANTÚ ALVAREZ SECRETARIO GENERAL

DR. EFREN PARADA ARIAS SECRETARIO ACADEMICO

**DR. JAIME ALVAREZ GALLEGOS**SECRETARIO DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

ING. ERNESTO MERCADO ESCUTIA
SECRETARIO DE SERVICIOS EDUCATIVOS

ING.OSCAR JORGE SÚCHIL VILLEGAS
SECRETARIO DE EXTENSIÓN E INTEGRACION SOCIAL

M. EN C. FERNANDO ARELLANO CALDERON SECRETARIO DE GESTION ESTRATEGICA

C.P. ROBERTO ALVAREZ ARGUELLES SECRETRARIO DE ADMINISTRACION

LIC. JUDITH CLAUDIA RODRIGUEZ ZUÑIGA DEFENSORA DE DERECHOS POLITECNICOS



### ESCUELA SUPERIOR DE CÓMPUTO

ING. APOLINAR FRANCISCO CRUZ LÁZARO DIRECTOR

**DR. FLAVIO ARTURO SÁNCHEZ GARFIAS** SUBDIRECTOR ACADÉMICO

**DR. JESÚS YALJÁ MONTIEL PÉREZ**JEFE DE LA SECCIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN

LIC. ARACELI LOYOLA ESPINOSA SUBDIRECTORA DE SERVICIOS EDUCATIVOS E INTEGRACIÓN SOCIAL

M. EN C. JUAN VERA ROMERO SUBDIRECTOR ADMINISTRATIVO

**DR. EDUARDO BUSTOS FARÍAS** EDITOR DE RISCE

#### Miembros del comité Revisor

(Todo el comité técnico está formado por doctores en ciencias o su equivalente)

Francisca Losavio de Ordaz (Venezuela) (Universidad Central de Venezuela)

Alfredo Matteo (Venezuela) (Universidad Central de Venezuela)

Emmanuel F. Moya Anica (México)

Edgardo Manuel Felipe Riverón (Cuba) (México) (CIC)

Luis Enrique Palafox Maestre (México)

Eduardo F. Caicedo Bravo (Colombia)

Hilda Ángela Larrondo (Argentina)

Guillermo Leopoldo Kemper Vásquez (Perú)

Elizabeth León Guzmán (Colombia)

María Cecilia Rivera (Chile)

Satu Elisa Schaeffer (Finlandia) (UANL)

Rafael Canetti (Uruguay)

Javier Echaiz (Argentina)

Pablo Belzarena (Uruguay)

Carlos Beltrán González (Italia) (Universitá di Genova)

Elena Fabiola Ruiz Ledesma (México)

Jonatan Gómez (Colombia)

Armando De Giusti (Argentina)

Juan José Torres Manríquez (México)

Jesús Yaljá Montiel Pérez (México)

Luis Alfonso Villa Vargas (México)

Marco Antonio Ramírez Salinas (México)

Félix Moreno González (España) (UPM)

Salvador Godoy Calderón (México) (CIC)

José Luis López-Bonilla (México) (IPN ESIME ZAC)

Lorena Chavarría Báez (México)

Miguel Santiago Suárez Castañón (México)

#### **INDICE**

Sistema de Cómputo Móvil para el control de la Diabetes Mellitus6
Juan J. Torres Manríquez., Edmundo R. Durán Camarillo, José Luis. Calderón Osorno.
Distribuciones de Probabilidad y Aproximaciones de Chebyshev-Padé17
José Roberto Mandujano
Librería dinámica para la administración de catálogos dentro de aplicaciones web 26
Jennifer Rubio Duk <sup>1</sup> , Fabiola Ocampo Botello, Roberto De Luna Caballero
Sistema de Cómputo para el Prediagnóstico en Medicina Interna34
<sup>1</sup> Edmundo René Durán Camarillo, Ignacio Ríos de la Torre, José Luis Calderón Osorno
Sistema de Diagnóstico Pediátrico de Malformaciones de los Pies46
Edmundo René Durán Camarillo, José Luis Calderón Osorno, Juan José Torres Manríquez
Sistema Informático para el Diagnóstico Médico de Cáncer en la Piel55
Edmundo R. Durán Camarillo, José L. Calderón Osorno, Ignacio Ríos de la Torre
Instrucciones para los autores66

## Sistema de Cómputo Móvil para el control de la Diabetes Mellitus.

Juan J. Torres Manríquez., Edmundo R. Durán Camarillo, José Luis. Calderón Osorno.

Escuela Superior de Cómputo del IPN

Av. Juan de Dios Bátiz S/N Miguel Othon de Mendizabal Col. Lindavista Del.

G. A. Madero. Mexico DF. CP 07738

jtorresm@ipn.mx, eduranc@ipn.mx, jcalderono@ipn.mx

**Resumen.** En este trabajo diseñamos un sistema computacional para el pre-diagnóstico y control de la Diabetes Mellitus, por medio de la inteliegencia artificial a través de un dispositivo móvil (PDA). Este sistema registra datos patológicos, clínicos y antecedentes familiares para generar como salida un pre-diagnóstico, para que el usuario esté informado si tiene la enfermedad, si no la tiene, si es propenso o está en riesgo de tenerla en un futuro. El sistema genera esta información por medio de tablas, gráficas y estadísticas para un correcto tratamiento y control de tal enfermedad con los avances tecnológicos actuales y además proporciona información acerca de dietas y recomendaciones.

**Abstract.** In this work we have developed a computation control and pre-diagnostic system for the Diabetes Mellitus with artificial intelligence through a mobile device (PDA). This system registers pathologic, clinician and familiar data to generate a pre-diagnostic to the user, and so he could have information about one's self ill, if he is healthy or he would be sick. The system generates this information through tables, graphics and statistics for a correct treatment and control of such ill with the advanced technology today and also gives information about diet and Diabetes Mellitus advice.

#### I. INTRODUCCIÓN.

Hoy en día la diabetes mellitus es una enfermedad de interés nacional ya que está afectando cada vez más a la población mexicana y es ya una de las principales causas de muerte en nuestro país, es por ello la importancia de tener conocimiento de esta enfermedad y más aun saber del tratamiento adecuado para tener controlada esta enfermedad. La población más afectada es la adulta mayor a los veinte años de edad.

La diabetes es una enfermedad ocasionada por la incapacidad del cuerpo de generar insulina o el cuerpo la utiliza incorrectamente, también ya se tiene clasificada la diabetes en tipos. En México el promedio de vida de un diabético mal controlado es de 57 años, es decir casi 20 años del promedio de la población general y también se estima que cada 2 horas muere una persona por complicaciones de la diabetes, pero es importante señalar que esta enfermedad es controlable al 100% y por ello es necesario conocer cuáles son los factores de riesgo que desarrolla la diabetes para llevar un tratamiento adecuado y tener un nivel de vida normal. La población que presenta esta tipo de enfermedad cambia drásticamente su nivel de vida y la de las personas que la rodean, ya que tiene que estar al pendiente de los cuidados necesarios para llevar un control de la enfermedad y tener un mejor nivel de vida.

Por todo lo anterior, diseñamos e implementamos un sistema de información el cual sirva para el pre diagnóstico y control de la diabetes Mellitus, por medio de la inteligencia artificial y dispositivo móvil (PDA). Este es un sistema experto que por medio de la introducción de datos patológicos, clínicos y antecedentes familiares genera como resultado un pre-diagnóstico, es decir, que el usuario conoce si tiene la enfermedad si no la tiene, si es propenso o está en riesgo de tenerla en un futuro. A partir de los datos clínicos introducidos por el paciente en este caso las medidas de las glucemias que arroja el glucómetro el sistema genera tablas, gráficas y estadísticas para un mejor tratamiento y control de la enfermedad y mantiene informado al paciente acerca de la Diabetes Mellitus, con los avances científicos y tecnológicos para el control de la misma, información acerca de dietas, recomendaciones, artículos, etc.

#### II. MÉTODOS Y MATERIALES.

Este sistema de información está montado en un dispositivo móvil para que el usuario en este caso el paciente siempre tenga acceso a éste. El sistema contiene información actualizada acerca de la diabetes mellitus, así como cuales son los síntomas, consecuencias y como afecta al cuerpo en general. Este sistema es un sistema experto que genera un pre-diagnóstico utilizando los datos que el paciente introduzca. Además el sistema lleva un control de los niveles de azúcar que el usuario registra y muestra esos datos en gráficas cuando estos sean requeridos por el paciente, también el sistema genera y muestra un tratamiento de acuerdo a los datos que le sean solicitados al paciente, el tratamiento contiene una serie de consejos, así como también una dieta de alimentos que podría consumir. Un punto importante es que el sistema contiene un tipo de agenda que muestra los medicamentos que debe tomar el paciente cada hora y la cantidad y si el usuario lo desea este lo alertará en forma de alarma para que no se le pase la hora que tiene programada para el suministro. Como la cantidad de información a procesar en un periodo largo de tiempo es basta, el sistema se sincroniza con un servidor para el almacenamiento de los datos y así se tenga la información disponible cuando esta sea requerida. Una opción que tiene el usuario del dispositivo móvil, es que si así lo desea, la información acerca de sus niveles de azúcar, así como información relacionada con su tratamiento la pueda mandar a un correo electrónico que será el de su médico de cabecera o su médico que le da seguimiento a su enfermedad, ya que con esto solucionamos el problema de que el paciente no puede asistir a citas por cuestiones de tiempo. Como los datos que se mandaran son de las mediciones diarias de azúcar que se hace el paciente ( 3 veces al día), esta información es completa y entonces, el sistema muestra de mejor forma el comportamiento de la enfermedad y como el cuerpo está respondiendo a los medicamentos asignados.

#### III. IMPLEMENTACIÓN.

En la fig.1, se muestra de forma general como funciona el sistema. El proceso comienza cuando el paciente, proporciona sus datos generales, patológicos, clínicos y antecedentes. Al utilizarlo por primera vez, el sistema proporciona un pre-diagnóstico y de acuerdo a este le sugiere un tratamiento, dietas y recomendaciones. Después el usuario solo ingresará sus niveles de glucosa y el sistema le proporcionará un control y administración de dichas medidas. Si el paciente llegará a presentar niveles de glucosa críticos estos serán enviados al médico de cabecera o a un familiar a través de un medio electrónico.

#### A. Módulos principales.

En los módulos que se muestran en la fig. 2, mostramos cuales son las principales funciones y que se encarga cada módulo, cabe mencionar que los módulos en donde se hace uso de lógica difusa [1] es en pre-diagnostico, control y la generación de tratamientos, dietas y recomendaciones, ya que tenemos los resultados que nos haya arrojado el sistema experto pasamos a esos datos a otros módulos que se encargan de volver a procesar esos datos y a guardarlos.

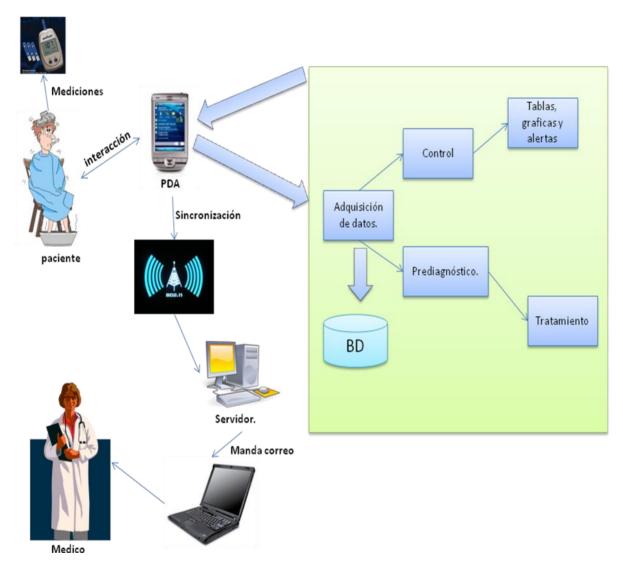


Figura 1. Esquema general del Sistema.

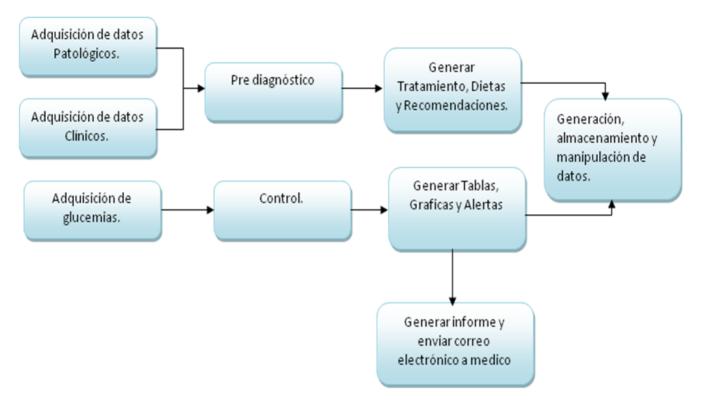


Figura. 2 Esquema general de los módulos del sistema.

#### B. Bases de la Lógica Difusa.

En teoría clásica de conjuntos, un conjunto tiene unos límites nítidos (crisp). Pero, ¿cómo expresar las vaguedades inherentes a los conceptos manejados por el ser humano? Lofti Zadeh, 1965 (considerado el Padre de la Lógica Difusa), consideró lo siguiente: La transición desde "pertenecer a un conjunto" hasta "no pertenecer a un conjunto" es gradual. [1].

Los sistemas difusos están basados en la teoría de los conjuntos difusos, las reglas difusas y los sistemas de razonamiento difusos, ver fig. 3. En la estructura básica de los sistemas difusos se encuentran los siguientes componentes:

Base de reglas

Mecanismo de razonamiento

Universos de Entrada/Salida (E/S)

Existen tres tipos de sistemas difusos, dependiendo de la forma de las entradas y las salidas, entre estas se encuentran las siguientes:

Sistema Difuso tipo Mamdani.

Sistema Difuso tipo Sugeno.

Sistema Difuso tipo Tsukamoto.

#### C. Fusificación.

La Fusificación es un proceso para la conversión de datos obtenidos del mundo real a un valor lingüístico lógico para lo cual se utilizan las funciones de membresía de las variables lingüísticas para calcular el grado de pertenencia para cada término en un conjunto. Este es el primer paso en difuso y debe de ser realizado para cada variable de entrada, el resultado es utilizado como entrada al mecanismo de inferencia

Para realizar la fusificación se debe de contar con las Funciones de Membresía (FM's) de las variables de entrada, estas representan gráficamente, el grado para el cual el valor real de una de ellas se traduce a un valor que pertenecen a una variable lingüística.

Las funciones de membresía más comúnmente utilizadas en el diseño de controles difusos son: la FM triangular, trapezoidal, campana Gaussiana.

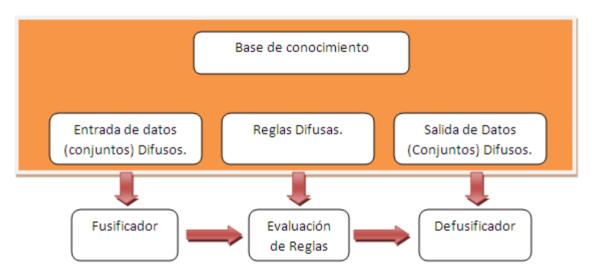


Figura. 3 Diagrama de un Sistema Difuso.

#### D. Mecanismo de inferencia.

El mecanismo de inferencia o reglas de evaluación permite interpretar y aplicar el conocimiento sobre cómo controlar mejor el sistema. Las reglas de evaluación son relaciones que se utilizan para expresar la relación existente entre los conceptos imprecisos y el comportamiento que gobierna al sistema que se quiere controlar, el experto debe desarrollar todo un conjunto de estas reglas -tantas como sean necesarias- para lograr una buena descripción del sistema a controlar. Cada regla tiene la forma de una declaración IF – THEN. La parte IF de la regla contiene una o más condiciones, llamadas antecedentes. La parte THEN de la regla contiene una o más acciones, llamadas consecuencias. Los antecedentes de las reglas corresponden directamente al grado de membresía (entrada difusa) calculada durante el proceso de fusificación. La cantidad de reglas depende de todas las posibles combinaciones que se puedan dar entre las funciones de membresía de la entrada y la salida. Cada una de estas reglas cuentan con un grado de soporte o prioridad, el cual indica que regla contribuirá en mayor o menor parte a la salida generada por el sistema en determinado momento; la asignación de estos grados de soporte depende de la experiencia del diseñador en el proceso de control. El grado de soporte permite no ser tan radical en la evaluación de las reglas ya que permite tener una evaluación parcial de las mismas.

Los antecedentes de cada una de las reglas generadas son relacionados con algún tipo de Operador difuso. Generalmente, en el diseño de controles difusos son utilizados como mínimo 2 operadores: el operador AND (intersección) para el mínimo, el operador OR (unión) para el máximo; la selección del operador depende en gran parte del sistema de inferencia a utilizar.

#### E. Defusificación.

El resultado final del sistema lógico difuso es la determinación de un valor de salida real que pueda ser utilizado por la aplicación o proceso de control. El valor difuso es convertido a un valor real en el proceso de Defusificación. Existen varios métodos diferentes de Defusificación utilizados en los sistemas de lógica difusa. Cada método de Defusificación utiliza una fórmula matemática para calcular la salida final basado en la fuerza de todas las reglas lógicas que han sido disparadas. Las variables en las fórmulas son grados de membresía de entrada y salida. Para realizar la Defusificación se debe de contar con las funciones de membresía de la variable de salida.

#### IV. ANÁLISIS Y DISEÑO.

Mediante los datos de entrada solicitados y el test de simulación Médica [2], el sistema proporciona el Prediagnóstico con un nivel de probabilidad de que el paciente tenga Diabetes como se ve en la fig. 4.

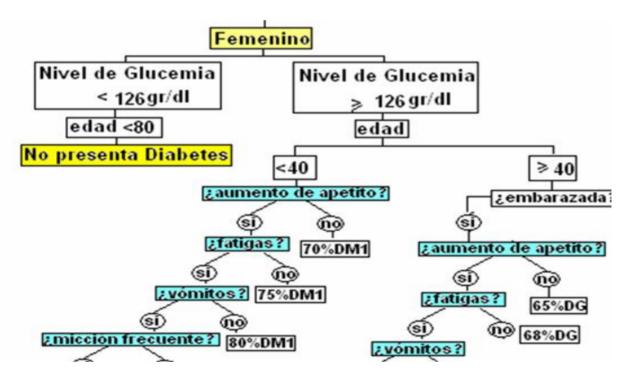


Figura 4. Porcentaje para el usuario.

En la fig. 4. se puede observar el caso de una paciente Femenino que presenta niveles de glucosa mayores a 126 mg/dl y su edad es menor a 40 años, al contestar el test de simulación Médica, la

paciente al preguntarle que si ha presentado vómitos frecuentes y contesta que no, en ese instante podemos afirmar de acuerdo a esta figura que la paciente tiene Diabetes tipo I a un 80% de probabilidad de esta [3].

Las Funciones de Membresía de salida para proporcionar el Pre-diagnóstico [4], constan de Funcion de Membresía para la Diabetes tipo I, II y Gestacional las cuales manejan como variables el porcentaje de 0 a 100% es decir Probabilidad Nula del 0 al 5 %, probabilidad Baja de 8% al 40%, probabilidad media de 41% a 60%, probabilidad alta 61% a 85%, y el paciente se considera Diabético si su probabilidad es mayor a 85% las cuales las podemos observar en las siguientes figs. 5, 6 y 7.

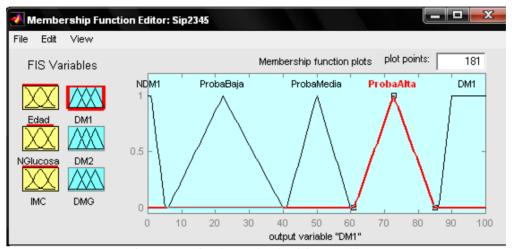


Figura 5. Funcion de Membresía Diabetes Mellitus I.

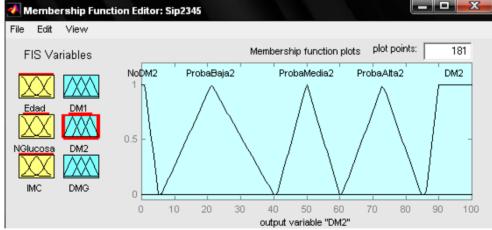


Figura 6. Funcion de Membresía Diabetes Mellitus II.

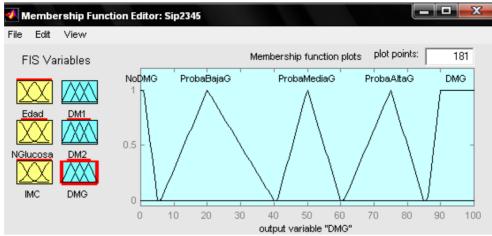
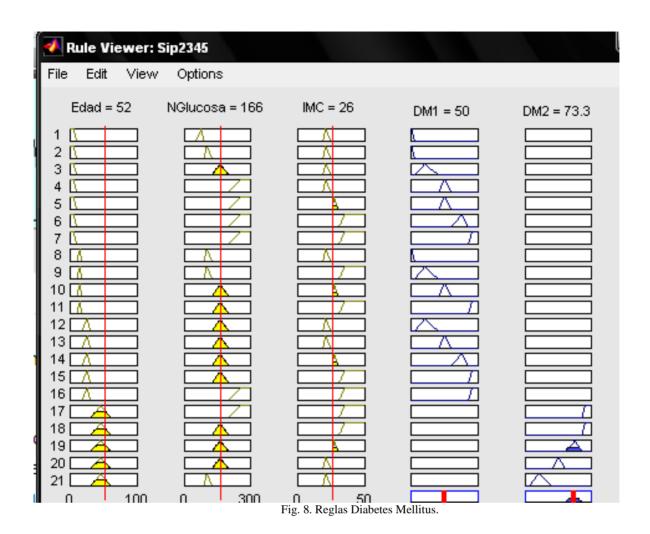


Figura 7. Funcion de Membresía Diabetes Mellitus II.

Las primeras reglas sin considerar el test de simulación medica nos arrojan los datos siguientes: para un paciente de 52 años en la primer columna de la fig. 8, se observa que entra apartir de la regla 17, con un nivel de glucosa en la sangre de 166 podemos verificar en la segunda columna que entra en la regla 18 conicidiendo con la anterior y un índice de masa corporal de 26 entrando en la regla 19 en la tercer columna esto es, presenta sobre peso nos arroja como primer resultado que es probable al 73.3 % de que tenga Diabetes Mellitus tipo II como se puede observar en la quinta columna regla 19 de la fig. 8.



Para un usuario de 16 años de edad entra en la regla 11 de la primer columna de la Fig. 9. con un nivel de glucosa muy elevado donde se observa que entra en varias reglas sin embargo coincide con la regla 11 de la primer columna, ademas presentando obesidad ya que su IMC es de 32 de igual manera entrando en la regla 11 de la tercer columna, esto nos arroja como resultado un paciente con 93.6% de probabilidad que sea Diabético Tipo I como se puede observar en la cuarta fila regla 11 de la fig. 9.

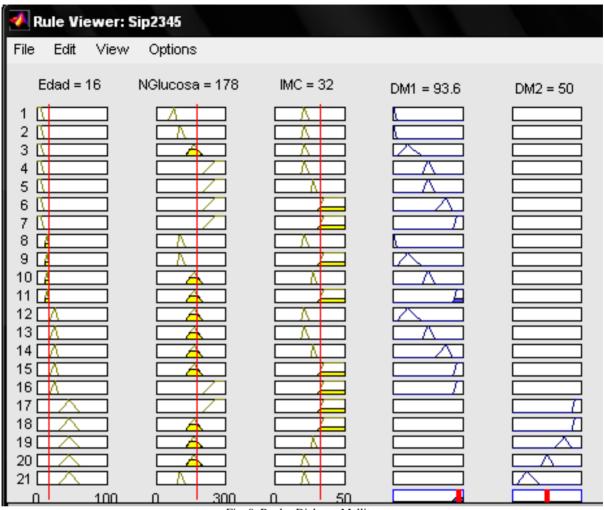


Fig. 9. Reglas Diabetes Mellitus.

En el caso de pacientes femenino forzosamente y embarazadas se presentara el caso de Diabetes Mellitus Gestacional pero este tipo de caso se evalua y se confirma con el test de simulacion medica anteriormente explicado.

#### V. CONCLUSIONES.

Con el análisis hecho hasta el momento nos hemos dado cuenta que nuestros sistema tiene varias ventajas sobre otros sistemas existententes ya que incluirá un prediagnosticador. Hemos observado que nuestro sistema es factible ya que los requerimientos han sido obtenidos de especialistas en este caso Médicos y personas con Diabetes Mellitus (usuarios). Se encontró que existen diversas técnicas para el modelado y desarrollo de algoritmos inteligentes el cual simulara al especialista en Diabetes Mellitus, nosotros proponemos utilizar para el modelado y desarrollo lógica difusa implementado "fuzzy logic", sin embargo para la realización de sistemas expertos también se puede usar "prolog". La diferencia principal y por la que se decide usar Fuzzy es que usa reglas difusas y "prolog" son simplemente reglas. Es importante señalar que la sincronización de datos se planea que sea vía

inalámbrica pero cabe la posibilidad que se realice en forma alámbrica, ya que no siempre se dispone de una red inalámbrica. Se pretende que el paciente pueda sincronizar sus datos en cualquier lugar público vía Wi-Fi [5], sin embargo el alcance en costos y tiempo nos limita a probar la sincronización alámbrica. Nos hemos dado cuenta, que la modelación de los sistemas expertos se basan mucho en la experiencia de el experto al que estamos modelando y cuenta mucho la experiencia que el experto tenga y de los casos que el mismo haya tratado.

#### REFERENCIAS.

- [1] Chin-Teng Lin and C. S. George Lee, "Neural Fuzzy Systems", Prentice Hall, EU, 1996. 1a Ed., 783 pp. J. S. R. Jang/C. T. Sun/E. Mizutani. "Neuro-fuzzy and soft computing. Prentice Hall, EU, 1997. 1a Ed., 607 pp.
- [2] Manual CTO de medicina y cirugía "Endocrinología" Francisco Álvarez Blasco, CTO MEDICINA, S.L. España 2007, 408 pp.
- [3] Federación Mexicana de Diabetes (2007 Julio), "Federación Mexicana de Diabetes" <a href="http://www.fmdiabetes.com/v2/paginas/d\_numeros.php">http://www.fmdiabetes.com/v2/paginas/d\_numeros.php</a>
- [4] Paul Harmon, David King. Sistemas Expertos, Aplicaciones de la inteligencia artificial en la actividad empresarial
- [5] . Jose A. Carballar, Wi-Fi, I Instalación, Seguridad y Aplicación, Alfaomega 2007, 319 pag

#### **EXTRACTOS CURRICULARES**

Juan José Torres Manríquez es miembro del Sistema Nacional de Investigadores, Nivel 1, Doctor en Ciencias especialidad es Física por la ESFM-IPN, México (2001), Maestro en Ciencias con especialidad en Física por la ESFM-IPN (1996), y es Licenciado en Fisicomatemáticas por la ESFM-IPN (1992). Actualmente, es Profesor Investigador del Departamento de Posgrado de la ESCOM-IPN; sus áreas de interés son: Sistemas Inteligentes, Sistemas Neurodifusos, Redes Neuronales Artificiales y Técnicas de GABOR, así como Física de Partículas Elementales.

Edmundo René Durán Camarillo. Obtuvo la Maestría en Ciencias por el Centro de Investigaciones y Estudios Avanzadas del Instituto Politécnico Nacional (CINVESTAV-IPN), México (1994) y es Ingeniero en Electrónica por el Instituto Tecnológico de Orizaba, Veracruz, México (1993). Actualmente, es profesor investigador perteneciente al departamento de posgrado SEPI en la Escuela Superior de Cómputo del IPN, México, y sus áreas de interés son: Automatización y Control, Inteligencia artificial, Sistemas Neurodifusos, Redes Neuronales Artificiales, y Sistemas Expertos.

José Luis Calderón Osorno. Obtuvo la Maestría en Ciencias por el Centro de Investigaciones y Estudios Avanzadas del Instituto Politécnico Nacional (CINVESTAV-IPN), México (1995) y es Ingeniero en Electrónica por el Instituto Tecnológico de Orizaba, Veracruz, México (1991). Actualmente, es profesor investigador perteneciente al departamento de posgrado SEPI en la Escuela Superior de Cómputo del IPN, México, y sus áreas de interés son: Inteligencia Artificial, Redes Neuronales Artificiales, Algoritmos Genéticos, Sistemas Neurodifusos, , y Sistemas Expertos, Diseño de Circuitos Integrados.

## Distribuciones de Probabilidad y Aproximaciones de Chebyshev-Padé

#### José Roberto Mandujano

Departamento de Ciencias Básicas, Escuela Superior de Cómputo del Instituto Politécnico Nacional , Av. Juan de Dios Bátiz S/N. Casi esquina Miguel Othón de Mendizábal, Unidad Profesional, Adolfo López Mateos. Colonia Lindavista ; Código Postal, 07738 Delegación Gustavo A. Madero; México, D.F. Teléfono: 57-29-60-00 Extensión: 52028 jrmandujano@yahoo.com.mx

**Resumen.** En los cursos de probabilidad es común utilizar tablas para obtener el área bajo las distribuciones normal, ji-cuadrada, t y F. El problema con ellas es que solamente tenemos acceso a unos cuantos valores. En este trabajo se plantea utilizar funciones racionales para aproximar las funciones que dan el área bajo las distribuciones. Con ellas tenemos: acceso a muchos más valores, las funciones racionales son de grado dos en el numerador y en el denominador y el error por la aproximación es aceptable.

Palabras Clave: Distribución, normal, ji-cuadrada, t, F, aproximación, racional.

**Abstract.** In the course of probability is common to use tables for the area under the normal, chi-square, t and F. The problem with them is that we only have access to a few values. This paper considers using rational functions to approximate the functions that give the area under the distributions. With them are: access to many more values, are rational functions of degree two in the numerator and denominator and the approximation error is acceptable.

**Keywords:** Distribution, normal, chi-square, t, F, approach, rational.

#### Introducción

 $\operatorname{SI} f(t)$  es una función de densidad, como la normal, ji-cuadrada, ty F, en muchas ocasiones se necesita calcular la probabilidad

$$F(x) = \int_0^x f(t)dt$$

Debido a la complejidad de esta integral se han hecho tablas en las que aparece el valor de la integral para varios valores de x. En este trabajo se da un camino diferente y es el de utilizar aproximaciones racionales de Chebyshev-Padé para aproximar F(x). Estas aproximaciones son cocientes de polinomios los cuales están escritos con polinomios de Chebyshev del primer tipo. Las aproximaciones son de grado dos en el numerador y en el denominador, lo que las hace fácil de manipular, y el más grande error en estas aproximaciones es del orden de 0.004. Aunque damos el procedimiento para calcular las aproximaciones de Chebyshev-Padé, se utiliza el software MAPLE para calcularlas. Para esto se carga el paquete with(numapprox) y se escribe chebpade(f,t=0..3,[2,2]), para obtener la aproximación de Chebyshev-Padé de f de orden (2,2) en el intervalo [0,3].

Primero haremos un breve repaso de los polinomios de Chebyshev y sus propiedades que ocuparemos para desarrollar este trabajo. Después veremos el método de Maehly para calcular aproximaciones de Chebyshev-Padé.

**Definición 1.**El conjunto de polinomios de Chebyshev del primer tipo  $\{T_k\}_{k=0}^{\infty}$ , en el intervalo [-1,1], se definen como

$$T_k(x) = cos[k \ arccos(x)], k \ge 0.$$

#### Teorema 1. Ortogonalidad de los Polinomios de Chebyshev.

$$\int_{-1}^{1} \frac{T_n(x)T_m(x)}{\sqrt{1-x^2}} dx = \begin{cases} 0, m \neq n \\ \frac{\pi}{2}, m = n \neq 0 \\ \pi, m = n = 0 \end{cases}$$

Estas fórmulas se demuestran haciendo el cambio de variable  $x = cos(\theta)$ .

**Teorema 2.** Toda función f(x) se puede expandir en una serie de polinomios de Chebyshev

$$f(x) = \sum_{k=0}^{\infty_l} c_k T_k(x)$$

1

la coma sirve para indicar que el primer término de la serie se divide entre 2. Además los coeficientes de la serie se calculan como:

$$c_k = \frac{2}{\pi} \int_{-1}^1 \frac{f(x)T_k(x)}{\sqrt{1-x^2}} dx$$

Para llegar a este resultado se multiplica la ecuación 2 por  $T_k(x)$  e integramos para obtener

$$\int_{-1}^1 \frac{f(x) T_k(x)}{\sqrt{1-x^2}} \, dx = \int_{-1}^1 \frac{c_0 T_0(x) T_k(x)}{\sqrt{1-x^2}} \, dx + \dots + \int_{-1}^1 \frac{c_1 T_k(x) T_k(x)}{\sqrt{1-x^2}} \, dx + \dots$$

Ahora empleando 1 la ecuación se reduce a:

$$\int_{-1}^{1} \frac{f(x)T_{k}(x)}{\sqrt{1-x^{2}}} dx = \int_{-1}^{1} \frac{c_{k}T_{k}(x)T_{k}(x)}{\sqrt{1-x^{2}}} dx = c_{k} \frac{\pi}{2}$$

de donde se obtiene el valor de  $c_k$ .

**Definición 2.** La aproximación de Chebyshev-Pade de la función  $f: [-1,1] \to \square$  es la función racional :

$$r_{m,n} = \frac{p_m(x)}{q_n(x)} = \frac{\sum_{k=0}^m a_k T_k(x)}{\sum_{k=0}^n b_k T_k(x)}, \ b_0 = 1$$

4

tal que:

$$\left[\sum_{k=0}^{\infty} c_k T_k\right] \left[\sum_{k=0}^{n} b_k T_k\right] - \sum_{k=0}^{m} a_k T_k = O(T_{m+n+1})$$

donde  $O(T_{m+n+1})$  es una serie de Chebyshev de la forma  $\alpha_{m+n+1}T_{m+n+1}+\cdots$ 

En el producto del polinomio  $q_n$  y la serie de f(x) hay productos de polinomios de Chebyshev. Estos productos se calculan con la fórmula:

$$T_i(x)T_j(x) = \frac{T_{i+j}(x) + T_{|i-j|}(x)}{2}$$

la cual se demuestra con la identidad

$$T_i(x)T_j(x) = cosi\theta cosj\theta =$$

$$\frac{cos(i+j)\theta + cos|i-j|\theta}{2} = \frac{T_{i+j}(x) + T_{|i-j|}(x)}{2}$$

**Ejemplo 1.** Calcular la aproximación de Chebyshev-Padé de orden m = 1 y n = 1,

Primero calculamos

$$(b_0T_0 + b_1T_1)\left(\frac{c_0}{2}T_0 + c_1T_1 + c_2T_2 + c_3T_3 + \cdots\right)$$

Multiplicando obtenemos

$$\frac{b_0c_0}{2}T_0T_0 + b_0c_1T_0T_1 + b_0c_2T_0T_2 + \cdots$$

$$\frac{b_1c_0}{2}T_1T_0 + b_1c_1T_1T_1 + b_1c_2T_1T_2 + b_1c_3T_1T_3 + \cdots$$

Con 6 podemos simplificar las fórmulas a

$$\tfrac{b_0c_0}{2}\Big(\tfrac{T_0+T_0}{2}\Big)+b_0c_1\Big(\tfrac{T_1+T_1}{2}\Big)+b_0c_2\Big(\tfrac{T_2+T_2}{2}\Big)+\cdots$$

$$\frac{b_{1}c_{0}}{2}\left(\frac{T_{1}+T_{1}}{2}\right)+b_{1}c_{1}\left(\frac{T_{2}+T_{0}}{2}\right)+b_{1}c_{2}\left(\frac{T_{8}+T_{1}}{2}\right)+b_{1}c_{3}\left(\frac{T_{4}+T_{2}}{2}\right)\cdots$$

Juntando los términos que tienen  $T_0$ ,  $T_1$  y  $T_2$  obtenemos

$$\begin{split} & \left(\frac{b_0 c_0}{2} + \frac{b_1 c_1}{2}\right) T_0 \\ & \left(b_0 c_1 + \frac{b_1 c_0}{2} + \frac{b_1 c_2}{2}\right) T_1 \\ & \left(b_0 c_2 + \frac{b_1 c_1}{2} + \frac{b_1 c_3}{2}\right) T_2 \end{split}$$

Igualando los coeficientes de las dos primeras ecuaciones a  $a_0$  y  $a_1$  y la última a 0 obtenemos el sistema de ecuaciones:

$$\frac{b_0 c_0}{2} + \frac{b_1 c_1}{2} = a_0$$

$$b_0 c_1 + \frac{b_1 c_0}{2} + \frac{b_1 c_2}{2} = a_1$$

$$b_0 c_2 + \frac{b_1 c_1}{2} + \frac{b_1 c_3}{2} = 0$$

Resolviendo este sistema de ecuaciones es como encontramos la aproximación de Chebyshev-Padé de orden (1,1).

El siguiente problema a resolver es ¿cómo encontramos la aproximación de Chebyshev-Padé de una función f definida en un intervalo [a, b]?

En realidad debemos repetir el procedimiento que hemos hecho cuando la función está definida en el intervalo [-1,1]. Sólo que se utilizan los polinomios:

**Definición 3.** Definimos los polinomios de Chebyshev del primer tipo en el intervalo [a, b], como:

$$T_k\left(\frac{2x-a-b}{b-a}\right), \ a \le x \le b$$

La transformación

$$z = \frac{2x - a - b}{b - a}$$

7

definida para  $a \le x \le b$  transforma este intervalo en  $-1 \le z \le 1$ .

$$f(x) = \sum_{k=0}^{\infty_l} c_k T_k \left( \frac{2x-a-b}{b-a} \right)$$

8

#### Teorema 3. Si

$$f(x) = \sum_{k=0}^{\infty_{I}} c_{k} T_{k} \left( \frac{2x-a-b}{b-a} \right)$$

8

entonces

$$c_k = \frac{2}{\pi} \int_{-1}^{1} \frac{f^{\left(\frac{(b-a)z+a+b}{2}\right)} T_k(z) dz}{\sqrt{1-z^2}}$$

9

Para demostrar 9 hacemos el cambio de variable (7) para obtener :

$$f\left(\frac{(b-a)z+a+b}{2}\right) = \sum_{k=0}^{\infty} c_k T_k(z)$$

Como  $T_k(z)$  son polinomios de Chebyshev en el intervalo [-1,1] entonces usando las fórmulas de ortogonalidad 1 obtenemos 9

El siguiente paso, para calcular la aproximación de Chebyshev\_Padé en el intervalo [a,b], es calcular los coeficientes de  $T_0\left(\frac{2x-a-b}{b-a}\right)$ , ...,  $T_{m+n}\left(\frac{2x-a-b}{b-a}\right)$  en la ecuación :

$$\begin{split} & \left[ \sum_{k=0}^{\infty} c_k T_k \left( \frac{2x-a-b}{b-a} \right) \right] \left[ \sum_{k=0}^{n} b_k T_k \left( \frac{2x-a-b}{b-a} \right) \right] - \\ & \sum_{k=0}^{m} a_k T_k \left( \frac{2x-a-b}{b-a} \right) = O\left( T_{m+n+1} \left( \frac{2x-a-b}{b-a} \right) \right) \end{split}$$

10

para anularlos. Haciendo el cambio de variable 7 podemos simplificar la ecuación 10 a

$$\left[\sum_{k=0}^{\infty} c_k T_k(z)\right] \left[\sum_{k=0}^{n} b_k T_k(z)\right] - \sum_{k=0}^{m} a_k T_k(z) = O\left(T_{m+n+1}(z)\right)$$

que es la misma que 5, la diferencia es que las c's ahora se calculan con 9.

Como es bien conocido en los cursos de probabilidad es necesario obtener el área bajo la curva de varias distribuciones como: la normal, la ji-cuadrada, la t y la F. Y lo más frecuente es utilizar tablas en las cuales ya vienen calculadas algunas de éstas áreas. El trabajo principal en este artículo es generar aproximaciones de Chebyshev-Padé de orden (2,2) de la forma

$$r_{2,2}(x) = \frac{a_0 + a_1 x + a_2 (0.66667 x - 1)^2}{b_0 + b_1 x + b_2 (0.66667 x - 1)^2}$$

11

en el intervalo [0,3] para la función:

$$F(x) = \int_0^x f(t) \, dt$$

donde f es alguna de las distribuciones mencionadas anteriormente. Es decir, vamos a generar aproximaciones tales que:

$$F(x) \cong r_{2,2}(x), \qquad a \le x \le b$$

y daremos una medida del error

$$|F(x) - r_{2,2}(x)| < \epsilon, \ a \le x \le b$$

Empezamos con la distribución normal. La aproximación de Chebyshev-Padé en el intervalo [0,3] a

$$F(x) = \int_0^x \frac{e^{-\frac{t^2}{2}}dt}{\sqrt{2\pi}}$$

es como la fórmula 11 , donde los coeficientes son:

$$a_0 = -.10997$$

$$a_1 = .3132$$

$$a_1 = .3132$$
  $a_2 = .11066$ 

**12** 

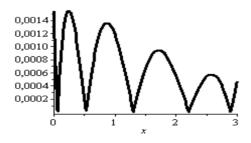
13

$$b_0 = 0.11208$$

$$b_1 = .4800$$

$$b_1 = .4800$$
  $b_2 = .3356$ 

El error 13 en el intervalo [0,3] es:



La siguiente distribución es la ji-cuadrada, la función que vamos a aproximar es:

$$F(x) = \int_0^x \frac{\frac{v}{t^{\frac{v}{2} - 1} e^{-\frac{t^2}{2}}}}{\frac{v}{2^{\frac{v}{2}} \Gamma\left(\frac{v}{2}\right)}} dt$$

donde v = 10. La aproximación de Chebyshev-Padé en el intervalo [0,3] es como 11 donde los coeficientes son:

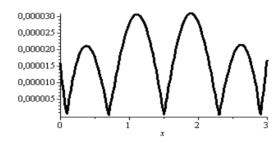
 $a_0 = -0.0011025$ 

 $a_1 = 0.0011746$   $a_2 = 0.001129$ 

 $b_0 = 1.1828$ 

 $b_1 = -.30723$   $b_2 = .5561$ 

Y el error por la aproximación 13 es



Continuamos con la distribución t. La aproximación de Chebyshev-Padé a

$$F(x) = \int_0^x \frac{\Gamma\left(\frac{n+1}{2}\right)\left(1+\frac{t^2}{n}\right)^{-\frac{n+1}{2}}dt}{\sqrt{\pi n}\,\Gamma\left(\frac{n}{2}\right)}$$

en el intervalo [0,3] con n=7 es como la fórmula 11, donde los coeficientes son:

 $a_0 = -.12440$ 

 $a_1 = .3131$ 

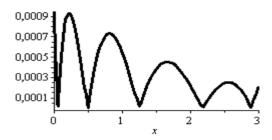
 $a_2 = 0.12478$ 

 $b_0 = 0.081644$ 

 $b_1 = .5056$ 

 $b_2 = .3199$ 

El error por la aproximación 13 es



La última distribución que consideraremos es la F. La aproximación de Chebyshev-Padé a

$$F(x) = \int_0^x \frac{\Gamma\left(\frac{m+n}{2}\right)\left(\frac{m}{n}\right)^{\frac{m}{2}} t^{\frac{m}{2}-1} \left(1 + \frac{mt}{n}\right)^{-\frac{m+n}{2}}}{\Gamma\left(\frac{m}{2}\right) \Gamma\left(\frac{n}{2}\right)} dt$$

en el intervalo [0,3] es como la fórmula 11 donde los coeficientes toman los valores

$$a_0 = -.55996$$

$$a_1 = .7296$$

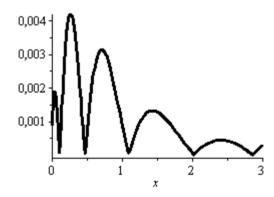
$$a_2 = .5597$$

$$b_0 = -.29288$$

$$b_1 = .67353$$

$$b_2 = .56517$$

Y el error de la aproximación 13 es



#### Conclusiones

La importancia de este trabajo es que hemos aproximado funciones demasiado complicadas a través de funciones mucho más sencillas de evaluar, como son las funciones racionales de grado dos en el numerador como en el denominador. Además podemos obtener muchos más valores que los que vienen en las tablas que generalmente se usan en los cursos de probabilidad. Las posibles extensiones de este trabajo pueden ir en la dirección de aumentar la precisión, para esto tenemos varios caminos: uno puede ser aumentar el grado de las funciones racionales que aproximan a la función, otro puede ser aumentar el número de dígitos que se utilizan en los cálculos y finalmente

podemos dividir el intervalo [0,3] y meter aproximaciones de Chebyshev-Padé en cada uno de los sub-intervalos que formemos.

#### **AGRADECIMIENTOS**

Quiero agradecer a la Escuela Superior de Cómputo por el apoyo que me ha dado para que me pueda desarrollar como Matemático y pueda realizar esta clase de trabajos. También a la Universidad Autónoma Metropolitana y en especial al Dr. Luis Verde Star, quién es mi asesor en el Doctorado y que ha sabido conducirme en mi formación.

#### REFERENCIAS

- [1] William Mendenhall, Richard L. Scheaffer, Dennis D. Wackerly, Distribuciones muestrales y el teorema del limite central, Estadística Matemática con Aplicaciones, Tercera Edición, Grupo Editorial Iberoamérica, páginas 265-295, D.F., México, 1986.
- [2] Alexander M. Mood, Franklin A. Graybill, Distribuciones en el muestreo, Introducción a la Teoría de la Estadística, Cuarta Edición, Aguilar Ediciones, páginas 253-284, Madrid, España, 1978.
- [3] Richard L. Burden, J. Douglas Faires, Teoría de Aproximación, Análisis Numérico, Tercera Edición, Grupo Editorial Iberoamérica, páginas 393-444, D. F., México, 1986.
- [4] J.C. Mason, D.C. Handscomb, Chebyshev polynomials, Chapman & Hall / CRC Press, London (2002)
- [5] C. Lanczos, Applied Analysis, Dover New York (1988),
- [6] C. Aguilar Ch., B.E. Carvajal-Gámez, J. López-Bonilla, On the Chebyshev polynomials, Scientia Magna vol.3, No.3 (2007) 82-84.

# Librería dinámica para la administración de catálogos dentro de aplicaciones web

Jennifer Rubio Duke<sup>1</sup>, Fabiola Ocampo Botello<sup>2</sup>, Roberto De Luna Caballero<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Arquitecto de sistemas de información. POSSnet Self-Service Solutions. Av. Insurgentes Sur 1677 despacho 404. Col. Guadalupe Inn. Cp. 01020. México D.F.

E-mail: jennifer.rubio@gmail.com. Tel. 56-62-5633

<sup>2</sup>Escuela Superior de Cómputo, ESCOM – I.P.N. Av. Juan de Dios Bátiz Esq. Miguel Othón de Mendizabal, S/N, Unidad Profesional Adolfo López Mateos. Col. Lindavista. CP. 07738. México D.F.

E-mail: focampob@ipn.mx, rdeluna@ipn.mx. Tel. 57-29-6000 ext. 52032

Resumen — Este artículo presenta la descripción del desarrollo de un sistema tipo librería en lenguaje Java, el cual se puede integrar a las aplicaciones web que realizan operaciones como altas, bajas, consultas y cambios en las entidades fuertes que componen la base de datos de dichas aplicaciones. A estas cuatro acciones se les conoce con el nombre de CRUD (por sus siglas en inglés, *Create, Read, Update, Delete*). Las ventajas que ofrecen este tipo de librerías están asociadas a la automatización de la implementación de las acciones CRUD en las aplicaciones web, para con ello lograr una disminución en el tiempo de desarrollo y la creación dinámica de operaciones básicas parametrizables en el acceso a los catálogos del sistema.

Palabras clave: CRUD, Java, Aplicaciones Web, Base de Datos.

**Abstract**. This paper presents the description of the development of a type library in Java, which can be integrated web applications that perform operations such as add, delete, queries and modifies in the strong entities that comprise the database of such applications. These four actions are known as CRUD (for its acronym in English, *Create, Read, Update, Delete*). The advantages of this type are associated with library automation in the implementation of the CRUD actions in web applications, to thereby achieve a reduction in development time and the dynamic creation of parameterized basic operations on access to catalogs system

Keywords: CRUD, Java, Web applications, databases.

#### I. Introducción

En la actualidad el manejo de la información para la realización de actividades en forma rápida y eficiente es parte fundamental de cualquier empresa u organismo social, sin importar si persigue un fin de lucro o no. El manejo de información actualizada, permite a las empresas a nivel interno compartir recursos, innovar sus procesos e integrar los diferentes aspectos que a nivel externo las vuelve competitivas y con ello colocarse a la vanguardia entre sus competidores.

Los adelantos tecnológicos en el área computacional y el creciente aumento de internautas en los países industrializados y en transición, permite a estas empresas y organizaciones dar a conocer sus productos y/o servicios con la intención de llegar a más clientes potenciales. Lo cual, conlleva a la valoración de la inversión económica que necesitan realizar para lograr tal objetivo.

Ante este escenario, es necesario valorar los costos que conlleva la automatización y la creación de aplicaciones a la medida que permita a las empresas agilizar los procesos y el acceso a información actualizada en todo momento, lo cual sin lugar a dudas convierte a dichas empresas no sólo en vendedores de bienes y servicios, sino en espacios de desarrollo de aplicaciones innovadoras que sobrepasen los límites de los sistemas de información tradicionales y enfocarse al desarrollo de sistemas de información parametrizables que sean capaces de responder a las necesidades cambiantes de un mundo incierto.

La tendencia en el desarrollo de sistemas de información en las organizaciones vanguardistas se enfoca a la creación de sistemas adaptativos y configurables, que cuenten con la posibilidad de añadir, modificar, consultar e incluso eliminar la información previamente registrada para mantener información pertinente, a estas cuatro acciones frecuentes se les

conoce como CRUD (*Crear, Recuperar, actUalizar y Deshacer*) 0 y estas son ejecutadas sobre las tablas de la base de datos de la aplicación que se conocen como catálogos, ya que contienen la información inicial necesaria para ser procesada durante los procesos de negocio de la aplicación.

Generalmente esta información es capturada por los usuarios de la aplicación mediante interfaces especializadas, mismas que no representan el proceso principal de la aplicación, sin embargo pueden llegar a significar un gran porcentaje del código de desarrollo total y necesario para el funcionamiento del sistema. Por lo tanto, mediante un proceso de automatización de estas pantallas que cubren la funcionalidad CRUD de la información inicial del sistema, llamada comúnmente catálogos, se puede reducir el tiempo de desarrollo y por lo tanto el costo del sistema, lo fue el objetivo planteado en este proyecto de investigación aplicada.

En la actualidad existen herramientas que intentan solventar esta necesidad de tener un medio de alimentación de los catálogos de una manera más económica y eficiente, para ello se han desarrollado mecanismos de generación del código necesario para poblar las tablas de la base de datos de una aplicación, tales como *AppFuse* [2] y *Hibernate Tools* [3] entre otros. Estas soluciones tienen la desventaja de que el código generado a final de cuentas debe ser acondicionado y ajustado para adaptarse a los requerimientos de la arquitectura a utilizar y adicionalmente conforme va evolucionando el desarrollo de la aplicación también se tiene que ir modificando el código con el surgimiento de nuevas necesidades; por tal razón, el tiempo de desarrollo de aplicaciones con estas herramientas alcanza un tope que impide a largo plazo la reducción de costos en el desarrollo de aplicaciones acordes a las necesidades actuales del usuario.

El trabajo de investigación que se presenta en este artículo incorpora el desarrollo de una librería dinámica para la administración de catálogos dentro de aplicaciones web. Esta administración se realiza de manera automatizada, es decir, no se generará código que se incorpore a la aplicación, si no que basándose en las restricciones propias de las bases de datos y a una configuración establecida, se indicará que tablas participarán en la aplicación web que se generará con la funcionalidad CRUD y de esta forma se crearán pantallas de manera dinámica (al momento de la ejecución) que permitan cubrir esta funcionalidad (realizar operaciones de alta, baja, búsquedas y eliminación de los elementos del catálogo o catálogos elegidos).

En la próxima sección se describe la viabilidad del desarrollo y uso de la librería, posteriormente se explican los requerimientos encontrados para desarrollar la librería, la arquitectura diseñada para dar solución a estos requerimientos y finalmente las conclusiones obtenidas en el presente trabajo.

#### II. Viabilidad

De manera general, la funcionalidad CRUD para los catálogos es hasta cierto punto similar en la mayoría de los casos, es decir, considerando las restricciones iniciales en el diseño de la base de datos, se da de alta información a través de una pantalla de captura, la posibilidad de relacionar la información que se está registrando con otra información previamente capturada, consultar lo ya existente y de ahí poder modificar o eliminar lo consultado. Bajo esta premisa es que se plantea la posibilidad de crear un módulo capaz de realizar estas acciones de manera genérica y con base en algunos parámetros se puedan configurar los casos específicos de los catálogos. De este modo evitar la realización de cada CRUD por separado y con ello reducir los tiempos de desarrollo.

Actualmente existen herramientas que generan código que cubre la funcionalidad CRUD de las aplicaciones web, este código debe ser generado al inicio del proyecto, una vez que ya se tenga diseñada la base de datos y este código se integra completamente a la aplicación, después es posible modificarlo para agregar alguna funcionalidad adicional, esto tiene el inconveniente de que durante el desarrollo de las aplicaciones web comúnmente surgen nuevas necesidades de catálogos completos o de datos adicionales a los que se plantearon inicialmente por lo que si esto sucede es necesario modificar directamente el código para incorporar los cambios. A diferencia de estas herramientas, la librería dinámica que se desarrolló en este proyecto de investigación permite en todo momento incorporar o quitar catálogos de la configuración de la librería, así como configurar los catálogos cada vez que sea necesario para mantener las restricciones iniciales del diseño de la base de datos y mantener la consistencia de sus datos, lo cual no solo reduce tiempos de desarrollo al inicio del proyecto, si no en todo el tiempo de vida útil de la aplicación web, durante el proceso de mantenimiento del sistema.

#### III. Descripción del provecto

La librería dinámica se compone de dos grandes módulos, el módulo de configuración de los catálogos y el módulo de administración del contenido de los catálogos. El primero se encarga de configurar los catálogos que se desea que sean administrados por medio de la librería dinámica, esto comprende la selección de las tablas involucradas, sus atributos, formatos y validaciones, los filtros de búsqueda y los permisos de acceso. Las funcionalidades incorporadas en este módulo son:

- Configurar el catálogo.
- Configurar detalles de captura de un catálogo.
- Definir relaciones entre los campos del catálogo y campos de otra tabla.
- Definir valores predeterminados para los campos del catálogo.
- Definir conjuntos de valores permitidos para los campos del catálogo.
- Configurar filtros de búsqueda para un catálogo.
- Configurar filtros de búsqueda que estén asociados a los valores de otra tabla.
- Establecer privilegios de seguridad para un catálogo.
- Realizar modificaciones a la configuración de catálogo.
- Eliminar la configuración de un catálogo para que ya no sea administrado por la librería dinámica.
- Generar una interfaz que muestre todos los catálogos configurados.

El segundo módulo se encarga de aprovechar la configuración de los catálogos realizada y por medio de esta configuración generar interfaces gráficas que permitan administrar el contenido de los catálogos, permitiendo la realización de las operaciones CRUD sobre los mismos, en este módulo se detectaron las siguientes funcionalidades a cubrir:

- Generar interfaz de altas.
- Generar interfaz de filtros de búsqueda.
- Generar interfaz de modificaciones
- Aplicar formatos configurados.
- Aplicar validaciones configuradas.
- Procesar alta de nuevo elemento de catálogo.
- Procesar consultas sobre tablas configuradas en el catálogo.
- Procesar modificaciones en la información de los catálogos configurados.
- Procesar eliminaciones sobre la información de los catálogos.

Adicionalmente se detectaron dos requerimientos no funcionales para poder incorporar esta librería en un gran número de aplicaciones web. El primer requerimiento no funcional se refiere a que es necesario que la librería dinámica pueda funcionar con distintos manejadores de base de datos como Oracle, PostgreSQL, SQLServer y MySQL. El segundo, se relaciona a la forma en que se integra a las aplicaciones web, ya que se requiere que la librería pueda ser añadida al menú de una aplicación web de manera que no sea evidente para el usuario final que se está haciendo uso de dicha librería.

#### IV. Arquitectura del sistema

Para cumplir con las necesidades y requerimientos detectados, fue necesario hacer uso de una arquitectura que fuera compatible con la mayoría de las aplicaciones web que se desarrollan en el mercado laboral actual, seleccionándose el lenguaje de desarrollo Java, debido a su gran aceptación.

La arquitectura general de la librería esta compuesta de tres capas: Capa de Presentación, Capa de Negocio y Capa de Acceso a Datos, como se muestra en la figura no. 1.

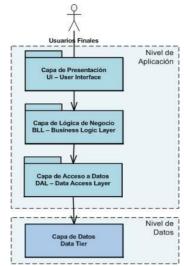


Figura No. 1 Arquitectura de 3 capas

Esta arquitectura tiene las siguientes ventajas:

- Se tiene una aplicación más robusta debido al encapsulamiento de las capas.
- Se tiene una centralización de los aspectos de seguridad y manejo de transacciones.
- En caso de que se requiera algún cambio, sólo se ataca al nivel requerido sin tener que revisar el código de toda la aplicación.
- El mantenimiento es más sencillo debido a que se simplifica la realización de cambios.

Cada una de las capas de la aplicación tiene una función muy específica que permite cumplir con el objetivo de crear una librería dinámica y adaptativa a los sistemas de información actuales, funciones que se describen de manera general a continuación.

#### La Capa de Acceso a Datos

La capa de acceso a datos se encarga de representar los datos persistentes de la aplicación y de realizar los accesos a la base de datos. Debido a que el modelo de objetos difiere en muchos aspectos del modelo relacional, existe una interface que une esos dos modelos, lo cual es llamado marco de mapeo relacional-objeto (ORM en inglés). Está demostrado que un 35% de tiempo de desarrollo de software está dedicado al mapeo entre objeto y su correspondiente relación [4] por lo que lo mejor es desarrollar esta capa mediante un *framework* especializado es este aspecto.

Para la librería dinámica en la capa de datos se tienen todos los mecanismos para realizar las operaciones del patrón CRUD aplicado a la capa de datos, el cuál describe que cada objeto debe ser creado en la base de datos para que sea persistente. Una vez creado, la capa de acceso a datos debe tener una forma de leerlo para poder actualizarlo o simplemente borrarlo. Por tal razón, en esta capa se provee de mecanismos genéricos de inserción, actualización, consulta y eliminación de los datos. Así mismo es necesario obtener información sobre los metadatos¹ de las tablas ya que documentan, entre otros aspectos, qué tablas existen en una base de datos, qué atributos posee cada una de ellas y qué tipo de datos se pueden almacenar.

#### La Capa de Negocio

En la capa de negocio se encuentran las reglas de operación de la librería, referentes a la funcionalidad que cubre la librería con base en los requerimientos anteriormente definidos.

<sup>1</sup> Un **metadato** se define comúnmente como "datos acerca de los datos", ya que se trata de datos que describen cuál es la estructura de los datos que se van a almacenar y cómo se relacionan.

Debido a estos requerimientos es necesario que la librería tenga un comportamiento dinámico, es decir, que sea capaz de obtener las clases configuradas como catálogos en tiempo de ejecución. La existencia del objetivo permite que la librería pueda ser configurada en cualquier momento y sin la necesidad de que la persona que lo configure tenga conocimientos de programación. Para poder desarrollar esta funcionalidad es necesario cargar dinámicamente las clases asociadas a las tablas que son configuradas como catálogos usando Reflexión<sup>2</sup>, el cual es usado para crear objetos de las clases de manera dinámica e invocar sus métodos en tiempo de ejecución, es decir, generando código que no existía previamente y que solo existirá durante la ejecución, permitiendo la programación dinámica[5].

#### La Capa de Presentación

En esta capa es donde se presentan los datos al usuario, se proporciona la interfaz visual que será usada para mostrar la información y obtener los datos. Por lo tanto las responsabilidades de la capa de presentación son:

- Navegabilidad del sistema
- Dar formato a los datos de salida
- Validación de los datos de entrada
- Interfaz gráfica de usuario
- Internacionalización (Capacidad de mostrar la aplicación en varios idiomas)

En este punto, los componentes son responsables de solicitar y recibir servicios de otros componentes de la capa de presentación y de la capa de negocio.

Esta capa se encarga de generar las pantallas de captura y presentación de datos de manera dinámica en base en las configuraciones del catálogo previamente establecidas, tales como: formatos, validaciones, orden en que se debe mostrar, campos requeridos y opcionales, conjuntos de valores permitidos y acciones permitidas sobre los catálogos.

#### V. Frameworks usados

Para desarrollar esta librería se usaron algunos *frameworks*<sup>3</sup> debido a que son estructuras de soporte definidas mediante las cuales, se desarrollan y organizan lógicamente las piezas de software permitiendo que sea organizado y robusto. Dado que en el mercado laboral actual existen numerosos *frameworks* especializados en soportar la arquitectura de diferentes partes del software, fue necesario realizar un análisis sobre cuáles eran los más apropiados para esta librería. Del análisis realizado se determinaron los *frameworks* que mejor satisfacían las necesidades de la librería, los cuales fueron:

- **Hibernate**. Es un *framework* ORM<sup>4</sup> completo y de libre distribución que ha conseguido una excelente reputación en la comunidad de desarrollo, posicionándose como el producto líder en este campo gracias a sus prestaciones, buena documentación y estabilidad [6].
- **Spring.** Es un *framework* que permite enfocar el desarrollo de software a las necesidades de negocio, permitiendo la reutilización de componentes y patrones comunes. Está formado por un conjunto de componentes reutilizables para realizar tareas comunes. Sus dos principales fortalezas son: la utilización global de patrones reutilizables y por otra parte la conectividad con muchos otros *frameworks* y tecnologías JEE. Por su diseño ofrece mucha libertad a los

<sup>2</sup> **Reflexión** es un componente de la API Java, la cual permite al código Java examinar y realizar una introspección sobre los componentes Java en tiempo de ejecución obteniendo la información de su estructura a bajo nivel, es decir la definición de la clase, sus atributos, métodos tipos de datos, etc.

etc.

3 Un *framework* es una estructura de software compuesta de componentes personalizables e intercambiables como: programas y librerías entre otros elementos de software para ayudar a desarrollar y unir los diferentes componentes de un proyecto.

<sup>&</sup>lt;sup>4</sup> mapeo objeto-relacional (más conocido por su nombre en inglés, *Object-Relational Mapping*, o sus siglas ORM) es una herramienta de mapeo de objetos a bases de datos que permite trabajar con una base de datos relacional teniendo objetos en lugar de registros y clases en lugar de tablas, lo que permite que toda la aplicación sea orientada a objetos. La función del ORM es transformar un registro en objeto, una tabla en clase y viceversa.

desarrolladores en Java y así mismo facilita el uso de buenas prácticas que hacen mucho más sencillo el desarrollo de aplicaciones robustas [7].

• **Struts.** Es un *framework* utilizado para desarrollar aplicaciones web mediante la plataforma JEE ya que implementa el patrón MVC<sup>5</sup>. La utilización de este framework proporciona una serie de ventajas con las que es posible reducir el tiempo requerido para el desarrollo y facilitan el mantenimiento de la aplicación web[8].

#### VI. Descripción de la arquitectura de la librería

Una vez integrado el modelo de 3 capas con los frameworks seleccionados, la arquitectura de la librería dinámica desarrollada se presenta en la figura 2.

Dentro de la capa de datos se tienen tres componentes, el *Model* que es el encargado de las representaciones de las tablas de configuración que le pertenecen a la librería dinámica para ser usadas como objetos; el *Dao* que se encarga de proveer los mecanismos genéricos de inserción, consulta, actualización y eliminación así como dichos mecanismos aplicados a las tablas de configuración de la librería dinámica; finalmente se tiene el componente *Support* que provee de la funcionalidad necesaria para consultar los metadatos de las tablas.

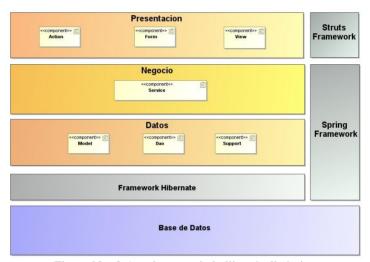


Figura No. 2 Arquitectura de la librería dinámica

En la capa de negocio se encuentran los servicios que proveen las reglas de operación de la librería, es decir la funcionalidad que está disponible para satisfacer las necesidades planteadas inicialmente.

La capa de presentación se divide en tres componentes, *Action*, que contiene los controladores del patrón MVC, *Form* que contiene los objetos que representan el modelo y *View* que contiene la vista. Los *Actions* son los encargados de interactuar con los servicios del negocio para obtener la información requerida para atender a las peticiones del usuario, así mismo en caso de requerirlo se encargarán de obtener los datos capturados en pantalla, llenar los objetos que requiere el negocio y determinar qué servicio del negocio es el indicado de procesar esa información. Las *Forms* contienen la información necesaria para mostrar el catálogo seleccionado en pantalla y finalmente el *View* se compone de diversos jsp's que interpretan esta información para presentarla ante el usuario de la aplicación, así mismo es responsable de realizar validaciones y aplicar formatos de acuerdo a las necesidades de cada interfaz gráfica generada.

31

<sup>&</sup>lt;sup>5</sup> Acrónimo de **Modelo Vista Controlador**, es un patrón de diseño que separa los datos de una aplicación, la interfaz de usuario, y la lógica de control en tres componentes distintos. El patrón de diseño MVC se usa frecuentemente en aplicaciones web, donde la vista es la página HTML y el código que provee de datos dinámicos; el modelo son los datos y la lógica de negocio; el controlador es el responsable de recibir los eventos de entrada desde la vista.

#### VII. Resultados

Por medio del desarrollo de la librería dinámica para la administración de catálogos dentro de aplicaciones web, se logró observar que mediante el desarrollo de componentes genéricos y usando el apoyo de *frameworks* especializados, es posible generar elementos de software que agilicen el desarrollo y el mantenimiento de las aplicaciones web desarrolladas en Java.

Los resultados del uso de la librería dinámica fueron ampliamente satisfactorios, se elaboró un análisis para determinar los beneficios en cuanto a la reducción de los tiempos de desarrollo, se consideraron cuatro sistemas diferentes. Para el análisis fueron tomados en cuenta los siguientes datos: la estimación total del tiempo de desarrollo del sistema, el número de horas que corresponde a desarrollar las interfaces de captura, modificación, búsqueda y eliminación de los catálogos de cada sistema, tiempo de aprendizaje del uso de la librería, tiempo de configuración de los catálogos para ser administrados mediante la librería dinámica y con base en esos datos se determinó el porcentaje de reducción del tiempo de desarrollo en cada caso. En la figura 3 se muestra una tabla con el detalle de estas pruebas.

	Datos generales		Sin la librería dinámica	Con la librería dinámica		Porcentaje de
	Estimación del tiempo de desarrollo	Número de catálogos	Estimación para desarrollar interfaces de administración de los catálogos de la aplicación*	Curva de aprendizaje para el uso de la librería'	Configuración de catálogos en la librería dinámica"	reducción en tiempo al usar la librería dinámica.
Sistema A	1056	4	363	16	17	31.25%
Sistema B	3520	10	1015	16	25	27.69%
Sistema C	9768	16	3206	16	48	32.17%
Sistema D	9856	19	3496	16	73	34.73%

\*tiempo en horas

Figura No. 3 Arquitectura de la librería dinámica

Del análisis realizado se determino que mediante el uso de la librería dinámica se pueden reducir los tiempos de desarrollo desde un 27% hasta un 35% dependiendo del número de catálogos requerido para el sistema.

Al emplear la librería dinámica en aplicaciones que requieren numerosos catálogos para sus procesos se reduce considerablemente el tiempo de desarrollo lo que permite dedicar más tiempo y esfuerzo en los aspectos más complejos de las aplicaciones como los son los procesos de negocio. Adicionalmente es mucho más sencillo realizar las modificaciones que sean necesarias en la configuración de estos catálogos por medio de las pantallas de administración de dicha configuración.

Los resultados obtenidos mediante el uso de la librería dinámica para el desarrollo de aplicaciones web, muestran que su utilización es menos costosa y más rápida, lo que la hace accesible a diversas empresas que requieren automatizar sus procesos y mantener su información disponible desde diversas ubicaciones y la reducción de recursos económicos y temporales en el desarrollo de aplicaciones para el manejo de catálogos.

#### VIII. Conclusiones

En este proyecto de investigación aplicada se utilizaron herramientas de desarrollo de software actualizadas, con gran aceptación y buena reputación en el mercado laboral, con lo cual se logró la creación de una librería dinámica parametrizable para aplicaciones web que permita a las organizaciones agilizar el manejo de información actualizada, reducir los costos de desarrollo y mantenimiento, lo cual es uno de los principales retos que enfrentan las organizaciones en la automatización de procesos, ya que al contar con sistemas de información personalizados y adaptativos con información lógicamente relacionada, organizada y disponible, las empresas tienen la posibilidad de enfrentar con éxito las demandas de la globalización.

#### Referencias

- [1] Kilov, H., "From semantic to object-oriented data modeling" Systems Integration. Vol. Issue 23 pp. 385–393, Apr. 2000
- [2] Raible Matt (1997, January, 11). App fuse Reference Guide. Available: http://appfuse.org/display/APF/Reference+Guide
- [3] Hibernate Tools Reference Guide, cap. 2 Available: http://docs.jboss.org/tools/2.0.0.GA/hibernatetools/en/html\_single/index.html
- [4] Ambler, Scott. The Design of a Robust Persistence Layer for Relational Databases, Available: http://www.ambysoft.com/persistenceLayer.pdf
- [5] Sosnoski Dennis. "Java programming dynamics, Part 2: Introducing reflection". IBM Developer Works 2003 Available: http://www.ibm.com/developerworks/library/j-dyn0603/
- [6] Glögls, Michael. Why we need Hibernate: What an object-relational mapper does. Java Developer Journal, vol. 9, no. 12, pp. 20-24, Dic. 2004
- [7] Johnson Rod, Hoeller Juergen. The Spring Framework Reference Documentation. Available: http://static.springsource.org/spring/docs/2.5.x/reference/index.html
- [8] Holmes James. Struts: The Complete Reference. 2006. pp. 6-10

## Sistema de Cómputo para el Prediagnóstico en Medicina Interna

<sup>1</sup>Edmundo René Durán Camarillo, <sup>1</sup>Ignacio Ríos de la Torre, <sup>1</sup>José Luis Calderón Osorno

<sup>1</sup>Escuela Superior De Cómputo, IPN, Av. Juan de Dios Batiz S/N, Unidad Profesional Adolfo López Mateos, Col. San Pedro Zacatenco. México D. F., C. P. 07738.

E-mail: <a href="mailto:eduranc@ipn.mx">eduranc@ipn.mx</a>, <a href="mailto:irios@ipn.mx">irios@ipn.mx</a>, <a href="mailto:jcalderono@ipn.mx">jcalderono@ipn.mx</a>, <a href="mailto:Tellosopen">Tellosopen</a>, <a href="mailto:5729">52024</a> y 52037

Resumen.- En este artículo se presenta un sistema de cómputo para hospitales y clínicas de atención médica, cuyos usuarios son los médicos, estudiantes de medicina y enfermeros. El sistema está formado de cuatro módulos principales y proporciona un prediagnóstico utilizando técnicas de la inteligencia artificial (IA) y emplea una metodología basada en el paradigma del modelo incremental. Un aspecto importante en el desarrollo del sistema es el dispositivo móvil, los cuales se programaron utilizando el lenguaje de programación C# y .net Compact Framework. La informática médica tiene una amplia aplicación en el que las técnicas de la IA se aplican tanto al tratamiento de los datos de los pacientes como a los procesos a través de los cuales se desarrollan; es decir, el diagnóstico, el tratamiento médico, el manejo de la información médica, la enseñanza de las ciencias médicas y la investigación biomédica. El sistema contempla tres de las nueve subespecialidades de la medicina interna con mayor número de pacientes en México; las cuales son: Cardiología, Nefrología y Neumología, y en lo particular para cada una de las subespecialidades se seleccionaron 17, 11 y 15 enfermedades, respectivamente. Para el caso de las pruebas del sistema experto difuso, se tiene una eficiencia del 95%.

Palabras clave: Medicina Interna, Sistema Experto Difuso, Redes Neuronales Artificiales, Dispositivos Móviles, Programación.

Abstract. - This article presents a computer system for hospitals and health care clinics, whose users are doctors, medical students and nurses. The system consists of four main modules and provides a pre-diagnosis techniques using artificial intelligence (AI) and uses a methodology based on the paradigm of incremental model. An important aspect in the development of the system is the mobile device, which is programmed using a programming language C # and .NET Compact Framework. Medical informatics has a wide application in which AI techniques are applied both to the processing of patient data and the processes through which they develop, ie, diagnosis, medical treatment, management medical information, education of medical sciences and biomedical research. The system includes three of the nine subspecialties of internal medicine to more patients in Mexico, which are: Cardiology, Nephrology and Pneumology, and in particular for each of the subspecialties were selected 17, 11 and 15 illnesses, respectively. Testing of fuzzy expert system has an efficiency of 95%.

Keywords: Artificial neural networks, fuzzy expert system, internal medicine, mobile device, programming

#### I. INTRODUCCIÓN

Actualmente, la informática médica tiene un dominio de aplicación amplio en el que las técnicas de la inteligencia artificial se aplican tanto al tratamiento de los datos de los pacientes como a los procesos a través de los cuales se desarrollan: a) el diagnóstico y el tratamiento médico, b) el manejo de la información médica, c) la enseñanza de las ciencias médicas y d) la investigación biomédica. Algunas aplicaciones específicas son:

- 1. Tratamiento automatizado de historias clínicas.
- 2. Sistemas expertos para la ayuda al diagnóstico y tratamiento de diversas enfermedades.
- 3. Tutórales y entrenadores para la enseñanza de las ciencias médicas.
- 4. Sistemas inteligentes para la ayuda a la administración de salud.

Generalmente, los Sistemas Expertos sirven para resolver cuestiones complejas, en las cuales hay muchos factores involucrados, se necesita tener en cuenta una amplia base de datos históricos, en donde, se puede definir alguna regla que permita la toma de decisiones rápida. Actualmente, son aplicados con éxito en las áreas de medicina, química, biología, administración, industria, etc.

Los Sistemas Expertos están basados en conocimientos dedicados a tareas específicas que requieren una gran cantidad de conocimientos de un dominio de experiencia particular, proporcionan experiencia en forma de diagnósticos, instrucciones, predicciones o consejos ante situaciones reales que se planteen y pueden servir también como herramientas de entrenamiento, y se aplican a numerosos campos de la vida actual, como medicina, actividades militares, económicas, financieras, industriales, ciencia, ingeniería y derecho [1].

Por otro lado, la medicina interna es la especialidad médica no quirúrgica relacionada con enfermedades de los órganos internos en los adultos. Los médicos que trabajan en ese campo, conocidos como internistas, están especializados en la prevención de enfermedades y en combatir desórdenes complejos del cuerpo [2], [3], [4].

Dentro del campo de la medicina interna, se reconocen nueve subespecialidades [5], [6]:

- 1. Cardiología, el tratamiento de las enfermedades del corazón y de los vasos sanguíneos;
- 2. Endocrinología, el estudio de las glándulas y otras estructuras que secretan hormonas;
- 3. **Gastroenterología**, el cuidado de las condiciones del tracto gastrointestinal, el hígado y el páncreas;
- 4. **Hematología**, el estudio de la sangre y de los tejidos formadores de sangre;
- 5. **Infectología**, el estudio de infecciones graves o infrecuentes;
- 6. **Nefrología**, el diagnóstico y tratamiento de las enfermedades del riñón;
- 7. **Oncología**, el estudio y tratamiento de tumores cancerosos;
- 8. **Neumología**, el tratamiento de las enfermedades de los pulmones y otras estructuras del aparato respiratorio;
- 9. **Reumatología**, el tratamiento de desórdenes relacionados con las articulaciones y otros tejidos conectivos.

Otro aspecto importante a considerar dentro del sistema son los Dispositivos Móviles, que definiremos como aparatos pequeños con algunas capacidades de procesamiento, conexión permanente o intermitente a una red, memoria limitada y diseñados específicamente para una función, pero que pueden llevar a cabo otras funciones más generales. Normalmente se asocian al uso individual de una persona, tanto en posesión como en operación, el cual puede adaptarlos a su gusto. La mayoría de estos aparatos pueden ser transportados en el bolsillo del usuario.

El presente sistema de cómputo contempló tres de las nueve subespecialidades de la medicina interna con mayor número de pacientes en México; las cuales son: Cardiología, Nefrología y Neumología, y en lo particular para cada una de las subespecialidades se seleccionaron diecisiete, once y quince enfermedades, respectivamente. El sistema está dirigido para su aplicación en hospitales y clínicas de atención médica, cuyos usuarios son los médicos, enfermeros y asistentes, utilizando un dispositivo móvil [6]

#### II. DESARROLLO

El Sistema de Cómputo para el Prediagnóstico en Medicina Interna está compuesto por cuatro módulos principales los cuales son: Procesamiento de la Información, Prediagnóstico Médico, Interfaces Gráficas, y Dispositivo Móvil. Estos módulos se muestran en la Fig. 1 y se describen a continuación.

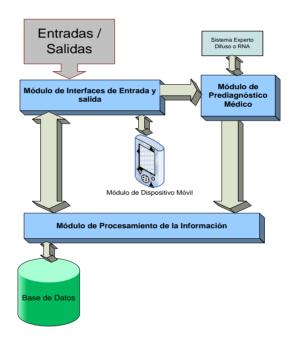


Figura 1 Diagrama de Bloques del Sistema.

Módulo de Procesamiento de la Información: Este módulo es necesario para mantener un correcto manejo de información, realizando tareas referidas con las operaciones necesarias para manejar la Base de Datos del sistema, manejo de consultas y modificaciones mediante lenguaje SQL, y generación de los formatos que manejará el sistema, [7].

Módulo de Prediagnóstico Médico: Una de las partes más importante del sistema es el Sistema Experto, la cual realizará tareas relacionadas con el Prediagnóstico Médico tomando en cuenta los síntomas y signos del paciente, los cuales los procesará mediante Redes Neuronales Artificiales (RNA) y un Sistema Difuso (SD) y dará como resultado un prediagnóstico indicando la posible enfermedad [8].

Módulo de Interfaces Gráficas: Este módulo se realizan tareas relacionadas con la interacción entre usuarios y sistema, tales como iniciar sesión, elegir un caso de uso o tarea especifica, realizar consultas, ingresos y modificaciones en los registros en la Base de Datos del sistema, así como tareas de generación de salidas, tales como son la impresión de recetas médicas, entre otros.

Módulo de Dispositivo Móvil: Tiene relación directa con el Módulo de Interfaces de Entrada y Salida, ya que el dispositivo móvil representa una de las entradas al sistema; este módulo controlará funciones propias de dicho dispositivo tales como la comunicación de este al servidor, ingreso de los síntomas y consulta de datos.

#### A. Módulo de Procesamiento de la Información

La parte más importante del módulo de procesamiento de la información es la Base de Datos para lo cual se diseñó y programó una base de datos relacional mediante SQL Server, la cual consta de diez tablas las cuales guardan los datos correspondes a: Médicos, Asistentes, Administradores, Sesión de Usuario, Citas Médicas, Estudio de Laboratorio, Diagnósticos, Enfermedades, Recetas Médicas y Pacientes. En la Fig. 2 muestra el diagrama Relacional de la base de datos [7].

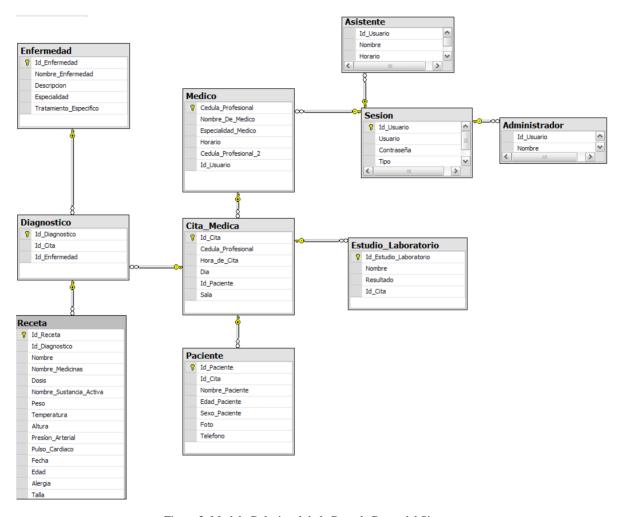


Figura 2. Modelo Relacional de la Base de Datos del Sistema.

## B. Módulo de Prediagnóstico Médico

Este módulo contiene los siguientes sistemas expertos.

- 1. Sistema Experto en el Prediagnóstico Provisional en Nefrología.
- 2. Sistema Experto en el Prediagnóstico Provisional en Neumología.
- 3. Sistema Experto en el Prediagnóstico Provisional en Cardiología.
- 4. Sistema Experto Difuso en el Prediagnóstico Diferencial en Taquiarritmias.

Los tres primeros fueron desarrollados mediante RNA, específicamente con la red denominada perceptrón multicapa, la cuales utilizaron el algoritmo de aprendizaje de retropropagación (conocida como Backpropagation). El cuarto sistema experto se desarrollo por medio de un SD [1], [8].

Diseño de la RNA.- En la Fig. 3, se muestra como está diseñada la estructura de una RNA de tipo perceptrón multicapa empleando el algoritmo de aprendizaje por retropropagación con razón de aprendizaje variable y momento, para el caso particular del Sistema Experto en el Prediagnóstico Provisional en Cardiología, se consideran las siguientes características: (a) el número de entradas es de 38, que es el número total de signos y síntomas que se consideraron. (b) El número de neuronas en la capa oculta fue calculado mediante la regla de la pirámide geométrica, para lo cual se utilizó la Ec. (1).

$$h = \sqrt{m \cdot n} \tag{1}$$

Donde:

m es el número de entradas,n es el número de salidas y

h es el número de neuronas en la capa oculta.

El resultado que se obtuvo fue 27 neuronas ocultas, en las cuales se utilizaron funciones de trasferencia de tipo logaritmo sigmoidal, *logsig*(); y finalmente se consideraron 17 neuronas en la capa de salida, las cuales representan las 17 enfermedades propuestas para el Sistema Experto en el Prediagnóstico Provisional en Cardiología, en las neuronas de la capa de salida se emplearon funciones de trasferencia de tipo lineal, conocida como *Purelin*(), [9].

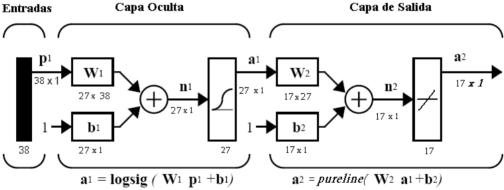


Figura 3 Arquitectura de la RNA para el sistema experto en el Prediagnóstico Provisional en Cardiología.

Para representar el conocimiento en cardiología, se realizó una relación entre los síntomas y las enfermedades en Cardiología, donde las diecisiete enfermedades se identifican con letras, como se muestran en la tabla 1.

Tabla 1 Diecisiete enfermedades de la subespecialidad de cardiología identificadas con letras.

A. Arritmia cardiaca.	B. Insuficiencia cardiaca.
C. Miocardiopatía.	D. Insuficiencia de la válvula mitral.
E. Prolapso de la válvula mitral.	F. Estenosis de la válvula mitral.
G. Insuficiencia de la válvula aórtica.	H. Estenosis de la válvula aórtica.
<ol> <li>Insuficiencia de la válvula tricúspide.</li> </ol>	<ol> <li>J. Estenosis de la válvula tricúspide.</li> </ol>
K. Hipotensión arterial.	L. Hipertensión arterial.
M. Aneurismas de la aorta abdominal.	N. Aneurismas de la aorta torácica.
O. Disección aórtica.	P. Enfermedad arterial oclusiva.
Q. Trombosis de las venas profundas.	

Dicho conocimiento se muestra como una relación de enfermedades y síntomas, donde se identifica a la enfermedad con la lista anterior; esta relación contempla un total de treinta y ocho signos y síntomas, y diecisiete enfermedades, para ejemplificar esta relación, en la tabla 2 se muestra dicha relación con 7 enfermedades

Tabla 2 Relación de síntomas que sugieren la posibilidad de una Cardiopatía (enfermedad cardiaca).

Síntomas	A	В	C	D	È	F	G
Angina							X
Astenia		X	X	X		X	X
Ahogo	X	X	X	X		X	
Calambres							
Cefalea							
Coloración de						X	
mejillas morada							
Coloración de piel				X			
Cianótica							
Coloración de piel							
marrón							
Consumo de alcohol			X				
o tabaco							
Desvanecimiento							
Disnea		X				X	X
Dolor abdominal							
Dolor de espalda							
Dolor torácico	X				X		
Edema pulmonar		X	X			X	
Edema de piernas		X	X	X			
Edema de pies y		X		X			
tobillos							
Fatiga					X	X	
Fiebre			X				
Hemorragias nasals							
Hinchazón de		X				X	
Abdomen							

Síntomas	A	В	C	D	E	F	G
Hinchazón de piernas				X			
Hinchazón de pies o		X					
tobillos							
Insuficiencia				X		X	X
Cardiaca							
Migraña					X		
Mareos	X						
Una masa pulsátil en							
medio del abdomen							
Molestias en la parte							
superior derecha del							
abdomen							
Palpitaciones	X			X	X		X
Presión arterial Alta							
Presión arterial Baja		X	X		X		
Pulso cardiaco	X		X	X	X	X	X
Anormal							
Pulso cardiaco							
ausente en							
extremidades							
Síncope	X						
Sibilancias							
Soplos			X	X		X	X
Tos				X			
Vértigo	X				X		

Para procesar un patrón de síntomas en la RNA, los valores de las entradas están representados por un vector p cuyos valores serían: 1 si se presenta el síntoma o 0 en caso contrario. La salida se interpreta mediante un vector  $a^2$  de tamaño 17 cuyo cada elemento representa una enfermedad, el valor meta considerado para las neuronas de salida es de 0.8 que representa un valor de 1, ó 0.2 que representaría un 0, con un margen de tolerancia o error de 0.2, por lo tanto un valor entregado entre 0.6 y 1.0 en las neuronas de la capa de salida indicaría un 1 lo que significaría un prediagnóstico de la enfermedad, se tiene por la Ec. (2), [10].

$$a^2 = pureline(W_1 \tan sig(W_1 p + b_1) + b_2)$$
 (2)

Entrenamiento de la RNA.- Hay muchas variantes del algoritmo de aprendizaje de Retropropagación, para el presente sistema se ha empleado el algoritmo denominado Razón de Aprendizaje Adaptativo con Momento, empleado en MATLAB por el comando *trainbpx*(), [9], [10].

El método del momento esta fundamentado en suavizar las oscilaciones, en la trayectoria hacia la convergencia, usando un filtro pasa bajas. El momento toma un intervalo de valores entre cero y uno. Al incrementar el momento las oscilaciones en la salida filtrada se reducen. El filtro tiene la tendencia a reducir la cantidad de oscilaciones mientras la trayectoria continua avanzando a un valor promedio, ahora veamos como funciona, los parámetros de actualización para el método del momento son las Ec. (3) y (4).

$$\Delta W^{m}(k) = \gamma \Delta W^{m}(k-1) - (1-\gamma)\alpha s^{m}(a^{m-1})^{T}$$
(3)

$$\Delta b^{m}(k) = \gamma \Delta b^{m}(k-1) - (1-\gamma)\alpha s^{m} \tag{4}$$

Donde W es el valor actual de la matriz de pesos sinápticos y b es el vector de umbrales, s es el valor obtenido del cálculo de las sensibilidades, a es la razón de aprendizaje, a es el valor resultante de la capa de neuronas en cuestión; el valor s se obtiene a partir de las Ecs. (5) y (6)

$$s^{M} = -2F^{M}(n^{M})(t-a) \tag{5}$$

$$s^{m} = \dot{F}^{m}(n^{m})(W^{m+1})^{T}S^{m+1}$$
, para  $m = M - 1, ..., 2, 1$  (6)

En donde F es la función de trasferencia de las neuronas de la capa en cuestión, y t es el valor objetivo en cuestión.

El algoritmo de Retropropagación con Razón de Aprendizaje Variable incrementa la velocidad de convergencia incrementando la velocidad de aprendizaje en superficies planas y disminuyéndola cuando la pendiente aumenta, [9], [10].

Las Reglas del algoritmo de aprendizaje variable son:

- 1.- Si el error cuadrático se incrementa mayor a un porcentaje,  $\zeta$ , establecido (1% a 5%) después de haber actualizado W; entonces se descarta la actualización;
  - a) La razón de aprendizaje  $\alpha$  se multiplica por  $0 < \rho < 1$ .
  - b) El coeficiente del momento g se ajusta a cero (si se utiliza el momento).
- 2.- Si el error cuadrático disminuye después de haber actualizado W, entonces la actualización es aceptada.
  - a)  $\alpha$  es multiplicada por un factor  $\eta > 1$ .
  - b) Si y había sido ajusta a cero, este regresa a su valor original.
- 3.- Si el error cuadrático se incrementa en un valor menor a  $\zeta$ , entonces la actualización de W se acepta pero  $\alpha$  no cambia.
  - a) Si y había sido ajusta a cero, este regresa a su valor original.

La razón de aprendizaje y el tamaño del paso tienden a incrementarse cuando la trayectoria esta viajando en línea recta con una disminución del error constante. Cuando la trayectoria llega a un

valle angosto la razón de aprendizaje es disminuido rápidamente. De otra forma la trayectoria se haría oscilatoria y el error se incrementaría dramáticamente.

Para el entrenamiento de la RNA se programaron los archivos *cardio.m* (ver Fig. 4) y *ProyC.m* (ver Fig. 5), el primero se utilizó para obtener los valores correspondientes a las matrices de pesos y umbrales *W1*, *b1*, *W2*, *b2*; dicho entrenamiento se realizó con 154 patrones de entrada y salida, considerando 9 patrones para cada enfermedad, mientras que el segundo archivo se programó para recuperar dichos valores en un archivo el cual llamamos WyBCardi.txt, [11].

```
[w1,b1,w2,b2]=initff(P,25,'logsig',T,'purelin')
disp_freq= 50;
max_epoch= 50000;
err_goal= 0.2;
lr= 0.2;
tp= [disp_freq max_epoch err_goal lr];
pause % pulse una tecla para iniciar el
entrenamiento
[w1,b1,w2,b2,epochs]=
trainbpx(w1,b1,'logsig',w2,b2,'purelin',P,T,tp)
[a1,a2]=simuff(P,w1,b1,'logsig',w2,b2,'purelin')
echo off.
```

Figura 4 Código en Matlab utilizado en el entrenamiento de la RNA en cardiología.

```
load matcardio
fi = fopen ('wlblw2b2.txt','w');
%Guardando W1
fprintf(fi,'double [,] W1=(');
for n=1:26
    fprintf(fi,'{');
    for m=1:38
        fprintf(fi,'%f ,',wl(n,m));
    end
    fprintf(fi,'},\n');
end
fprintf(fi,'};\n');
fprintf(fi,';\n');
fclose(fi);
echo off
```

Figura 5 Código en Matlab Utilizado Para guardar las matrices de pesos y umbrales.

En la Figura 6 podemos apreciar que la RNA para el sistema experto en el Prediagnóstico Provisional en Cardiología, se entreno con 50000 épocas, mediante el algoritmo de aprendizaje de retropropagación, en el cual se utilizó una razón de aprendizaje variable y momento, después de realizar dicho entrenamiento se obtuvieron los valores de las matrices antes mencionadas **W1**, **b1**, **W2**, **b2**, cuyas dimensiones se mencionan a continuación; es decir, para **W1** se tiene una matriz de 27 columnas y 38 filas, y para **b1** un vector de 27 elementos. Para **W2** se tiene una matriz de 17 columnas por 27 filas y finalmente para **b2** un vector de 17 elementos, [11]

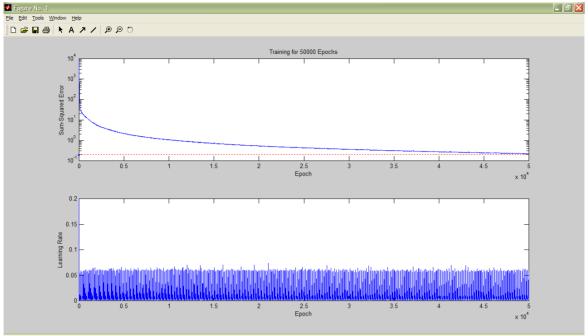


Figura 6 Gráfica del entrenamiento de la RNA para el sistema experto en Cardiología.

## C. Módulo de Dispositivo Móvil e Interfaces Gráficas

El sistema presenta un módulo de dispositivo Móvil utilizándose una Pocket PC – iPAQ 116 Classic Handled de HP, en la cual se presentan varias interfaces graficas al usuario, como se pueden a preciar en las figuras 7 y 8. Con dicho dispositivo el médico podrá llevar a cabo un Prediagnóstico en base a los síntomas y signos que presente el paciente. Y en consecuencia el médico sugerirá el tratamiento adecuado, [12]

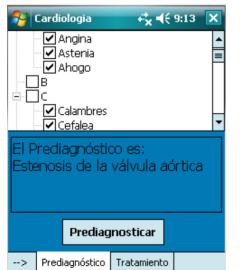


Figura 7 Interfaz gráfica para el Prediagnóstico Provisional en Cardiología utilizada en el dispositivo móvil.

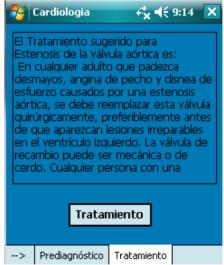


Figura 8 Interfaz gráfica para el Tratamiento del Prediagnóstico Provisional en Cardiología, utilizando el dispositivo móvil.

## III. RESULTADOS

Para el Sistema Experto en el Prediagnóstico Provisional en Cardiología se probaron 15 patrones de cada enfermedad a excepción de la enfermedad denominada Aneurismas de la aorta torácica donde solo se probó con 10, los resultados de eficiencia para el prediagnóstico se visualizan en la tabla 3.

Tabla 3 Porcentajes de eficiencia en el prediagnóstico de cada cardiopatía.

tota 3 i orcentajes de criciencia en e	- FB	
	Número de	Porcentaje
Nombre de la Enfermedad.	patrones	de
	prediagnosticados	eficiencia.
	correctamente.	
Arritmia cardiaca	15	100%
Insuficiencia cardiaca	15	100%
Miocardiopatía	15	100%
Insuficiencia de la válvula mitral	15	100%
Prolapso de la válvula mitral	15	100%
Estenosis de la válvula mitral	15	100%
Insuficiencia de la válvula aórtica	14	93%
Estenosis de la válvula aórtica	15	100%
Insuficiencia de la válvula	15	100%
tricúspide	15	100%
Estenosis de la válvula tricúspide	15	100%
*	15	100%
Hipotensión arterial	15	100%
Hipertensión arterial	9	90%
Aneurismas de la aorta abdominal	15	100%
Aneurismas de la aorta torácica	15	100%
Disección aórtica	15	100%
Enfermedad arterial oclusiva		
Trombosis de las venas profundas		

En total, se probaron 250 combinaciones diferentes de síntomas, de los cuales 248 fueron prediagnosticados correctamente, con lo que se puede concluir que el Sistema Experto en el Prediagnóstico Provisional en Cardiología tiene una eficiencia de 99.2%. De igual manera se realizaron las pruebas de los otros tres sistemas expertos obteniéndose los siguientes resultados:

El Sistema Experto en el Prediagnóstico Provisional en Nefrología considera 55 signos y síntomas como entradas y puede inferir 11 enfermedades en Nefrología, se entrenó con 88 combinaciones de síntomas, pero se probaron en total 165 combinaciones diferentes de síntomas, de los cuales 163 fueron prediagnosticados correctamente. Tiene una eficiencia de 98.7%.

El Sistema Experto en el Prediagnóstico Provisional en Neumología considera 112 signos y síntomas como entradas, puede inferir 15 enfermedades en Neumología, se entrenó con 135 combinaciones de síntomas y se probaron en total 225 combinaciones diferentes de síntomas, de los cuales 218 fueron prediagnosticados correctamente. Tiene una eficiencia de 96.9%.

Finalmente, el Sistema Experto Difuso para Prediagnóstico Diferencial en Taquiarritmias considera 6 variables de entrada, que toman en cuenta los signos y síntomas utilizados para realizar el prediagnóstico diferencial, los signos son: frecuencia del pulso, ritmo cardiaco, intensidad del primer ruido, desdoblamiento del segundo ruido, onda yugular y maniobras vagales. Por el contrario solo se estipulo una variable de salida denominada: taquicardia, la cual considero cinco términos lingüísticos. La base de conocimiento se constituyó por 21 reglas. Se probaron 20 combinaciones diferentes de síntomas de los cuales 19 fueron prediagnosticados correctamente. Obteniéndose una eficiencia de 95 %, [1]

#### IV. CONCLUSIONES

Después de analizar diferentes entornos de desarrollos se concluyó que *Microsoft Visual Studio* 2008 y el lenguaje de Programación <u>C#</u> son adecuados para el desarrollo del sistema, conjuntamente con .net Compact Framework para el desarrollo del Módulo de dispositivo móvil, [12]

Después de analizar diferentes modelos de RNA supervisadas, se concluyó que el modelo *Perceptrón Multicapa (PM) entrenado con el algoritmo de aprendizaje de Retropropagación utilizando una razón de aprendizaje variable y momento*, permitía clasificar varias combinaciones de síntomas que sugieren la misma enfermedad y realizar un prediagnóstico provisional confiable, obteniéndose un 98% de eficiencia en el sistema., [9].

Después de haber analizado diferentes herramientas para programar sistemas difusos en lenguaje C# se concluyó que la librería *FuzzyLogic para .NET* era la mejor opción para el implementar el sistema, debido a que finalmente nos permitió codificar el sistema experto difuso para el prediagnóstico diferencial en taquiarritmias, ya que funciona bajo la licencia pública general, [1], [12].

Finalmente, se concluyó que el Sistema Experto Difuso utilizado permitió modelar e implementar de forma adecuada el submódulo de Prediagnóstico Diferencial en Taquiarritmias, obteniéndose un 95% de eficiencia en el sistema al probar 20 combinaciones diferentes de síntomas.

#### V. REFERENCAS

- [1]. Siler William J., Buckley J.: Fuzzy Expert Systems. EU: Wiley Interscience (2005).
- [2]. Rozman J.M., Farreraz V. P., CamíMorell L.: Medicina Interna. EU Mc GRAW-HILL (2004).
- [3]. Anthony S. F., Eugene B., Dennis L. K.: Harrison Principios de medicina interna. EU: Elsevier Health Sciences Division (2008).
- [4]. M. Tierney L. M., McPhee S. J., Papadakis M. A.: Diagnóstico Clínico y Tratamiento. EU: Mc GRAW-HILL (2006).
- [5]. Merck E., Holvey D. N., Harold T. J.: The Merck Manual of Diagnosis and Therapy. EU: Harcourt (1999).
- [6]. Matarrama P. M., Llanio N. R., Muñiz I. P.: Medicina Interna: Diagnóstico y tratamiento. La Habana: Ed. Ciencias Médicas (2005).
- [7]. Kimmuel P.: Manual de UML Guía de aprendizaje. México: McGraw-Hill. (2007).
- [8]. Del Brío B. M., Sanz Molina A.: Redes Neuronales y Sistemas Difusos. México: Alfa Omega (2000).
- [9]. Hagan T. M., Howard B. D., Mark Beale: Neural Network Design. EU: PWS Publishing Company. An International Thomson Publishing Company (1995).
- [10]. Hilera R. J., Martínez V J.: Redes neuronales artificiales: fundamentos, modelos y aplicaciones. EU: Addison-Wesley (1995).
- [11]. Demouth H., Beala M.: Manual: neural network, toolbox del paquete MATLAB de MATHWORKS. EU: MATHWORKS (1999).
- [12]. Ceballos F. J.: Enciclopedia de Microsoft VISUAL C#. México: Alfa Omega. (2007).

## VI. EXTRACTOS CURRICULARES

Edmundo René Durán Camarillo obtuvo la Maestría en Ciencias por el Centro de Investigaciones y Estudios Avanzadas del Instituto Politécnico Nacional (CINVESTAV-IPN), México (1994) y es Ingeniero en Electrónica por el Instituto Tecnológico de Orizaba, Veracruz, México (1993). Actualmente, es profesor Investigador titular y profesor colegiado de la SEPI en la Escuela Superior de Cómputo del IPN, México. Sus áreas de interés son: Automatización y Control, Inteligencia artificial, Sistemas Neurodifusos, Redes Neuronales Artificiales, y Sistemas Expertos.

**Ignacio Ríos de la Torre** tiene la Maestría en Investigación de operaciones por la UNAM, México, (1996), es Licenciado en Fisicomatemáticas por la ESFM-IPN (1992) y candidato a grado de maestría en sistemas de producción por el IPN. Actualmente, es profesor investigador, profesor colegiado de la SEPI y decano de la ESCOM-IPN; sus áreas de interés son: Probabilidad, estadística, inteligencia artificial y redes neuronales artificiales.

José Luis Calderón Osorno obtuvo la Maestría en Ciencias por el Centro de Investigaciones y Estudios Avanzadas del Instituto Politécnico Nacional (CINVESTAV-IPN), México (1995) y es Ingeniero en Electrónica por el Instituto Tecnológico de Orizaba, Veracruz, México (1991). Actualmente es profesor Investigador Titular y profesor colegiado de la SEPI en la Escuela Superior de Cómputo del IPN, México, y sus áreas de interés son: Inteligencia artificial, redes neuronales artificiales, y sistemas inteligentes.

# Sistema de Diagnóstico Pediátrico de Malformaciones de los Pies

<sup>1</sup>Edmundo René Durán Camarillo, <sup>1</sup>José Luis Calderón Osorno, <sup>1</sup>Juan José Torres Manríques

<sup>1</sup>Escuela Superior De Cómputo, IPN, Av. Juan de Dios Batiz S/N, Unidad Profesional Adolfo López Mateos, Col. San Pedro Zacatenco. México D. F., C. P. 07738, E-mail: eduranc@ipn.mx, irios@ipn.mx, jcalderono@ipn.mx, Tel. 5729 6000, 52037 y 52018

**Resumen.-** En este artículo se presenta un sistema para realizar el prediagnóstico médico de diferentes malformaciones del pie, se fundamenta en técnicas como la ortopedia pediátrica, sistemas difusos y tratamiento digital de imágenes. El sistema se compone principalmente de tres módulos: captura de la imagen, tratamiento digital de la imagen del pie y detección de las malformaciones. En general, el sistema captura la huella del pie a través de una cámara digital, llevando a cabo un análisis en tiempo real de la misma con el fin de obtener el tipo de pie del individuo.

## Palabras claves: Ortopedia Pediátrica, Podoscopio, Podógrafo, Tratamiento Digital de Imágenes, Sistemas Difusos.

**Abstract.-** This paper presents a system for performing the medical prediagnostic different malformations of the foot, is based on techniques such as pediatric orthopedics, fuzzy systems and digital image processing. The system mainly consists of three modules: image capture, digital image processing of the foot and the detection of malformations. In general, the system captures the footprint through a digital camera, carrying out real time analysis of the same in order to obtain the individual's foot type.

#### Keywords: Pediatric Orthopedics, Podoscopio, Podografo, Digital Image Processing, Fuzzy Systems.

## INTRODUCCIÓN

Cuando nace, el ser humano no tiene un pie configurado; en el bebé los arcos del pie no son perceptibles. Solamente, cuando el niño ha adoptado la posición de pie y se aplican a éste los esfuerzos de las tensiones derivadas del soporte del peso y la marcha, se empiezan a hacer aparentes los arcos, especialmente el longitudinal. Durante los primeros años de vida, el pie se encuentra en periodo formativo. Al principio, es una estructura muy flexible que no ha desarrollado la fortaleza necesaria, por lo que cualquier tensión anormal que se ejerza sobre él supone sobrecargas indebidas que serán mal toleradas. Además, los pies de los niños son órganos a través de los cuales reciben mucha información, estímulos que generan respuestas. [1].

La intervención de factores externos e internos, tales como la acción de la gravedad y la de sus músculos extrínsecos e intrínsecos, han determinado sus características estructurales y funcionales. La planta del pie o región plantar es homóloga de la palma de la mano. Es el sitio de sustentación del organismo y la zona por la que el hombre se pone en contacto con la superficie en donde se apoya o impulsa. Los límites de la huella son: por atrás, la planta del pie colinda con la cara posterior de la garganta del pie, por adelante el límite es el pliegue dígito plantar y a los lados tiene por límites, en el borde medial, una línea que une el lado interno del talón con el mismo lado del dedo grueso y por el borde lateral, una línea que va del borde externo del talón con el mismo borde del quinto dedo.

La región plantar tiene forma de cuadrilátero alargado en sentido anteroposterior, es más angosta en su parte posterior, a nivel del talón y más ancha a nivel del pliegue dígito plantar. La planta del pie no es plana, pues su parte interna y central no se apoya en el suelo, ahí se forma una ligera elevación, o arco longitudinal medial.

En México cuando menos el 80% de la población tiene problemas en los pies, que a menudo pueden corregirse mediante una valoración, tratamiento y ante todo, un cuidado adecuado. Las lesiones del tobillo y del pie pueden alterar la mecánica de la marcha y como resultado, originar esfuerzos en otras articulaciones del miembro inferior, a su vez, esto puede originar alteraciones en dichas articulaciones. Cuando se valora el pie se debe revisar la posición del pie

cuando soporta peso pues ésta señala cómo compensa el cuerpo las anormalidades estructurales. Los contornos óseos deben ser normales y hay que observar cualquier desviación.

Son múltiples las causas capaces de generar un pie doloroso, incompetente para sostener el peso del cuerpo, propulsarlo en la marcha o equilibrarlo sobre el piso. Las malformaciones congénitas son las malformaciones observadas desde el nacimiento, por ejemplos: pie plano-valgo congénito, pie boto, pie cavo congénito, primer metatarsiano atávico. Mientras que las deformaciones adquiridas son:

- a) Del pie: pie plano longitudinal, pie plano valgo, pie plano anterior (o transverso).
- b) De los dedos: hallux-valgus, hallux-rigidus, dedos en garra (o en martillo), lesiones del 5º dedo.
- c) Metatarsalgias.
- d) Talodineas o talalgias.
- e) Artropatías reumáticas: gota úrica, artrosis, artritis reumatoídeas.
- f) Lesiones vasculares.
- g) Lesiones de partes blandas.
- h) Tumores óseos y de partes blandas.
- i) Lesiones de la piel y fanéreos: uña encarnada, queratosis (callosidades).

Por supuesto que estas deformidades pueden combinarse (y de hecho lo hacen), siendo muy raras las deformidades en un solo plano. Así, tendremos Pies Talo-Valgos, Equino-Varo, etc.

En cuanto a las clasificaciones hay diferencias entre los investigadores, aunque todos coinciden que el pie puede clasificarse de manera general en tres tipos básicos, estos son: *normal, plano y cavo*. Por lo tanto. De alguna forma, los dos últimos tipos de pie dan origen a las dos malformaciones básicas que éste presenta y que de alguna manera pueden detectarse realizando un análisis sobre la huella del pie.

La huella de un pie normal demuestra que el arco longitudinal entra en contacto con el suelo únicamente en su lado externo; pero si el arco es más plano por naturaleza, no interfiere la normal función del pie.

Se puede definir el Pie Plano, siguiendo a Viladot, como "Aquel pie que presenta una deformidad en valgo del retropié (pronación), asociada generalmente a un hundimiento de la bóveda o arco plantar en carga y a una tendencia a la supinación del antepié".

Se puede considerar que este tipo de pie es fisiológico; es decir, *normal hasta los 4 años* de edad, debido a la hiperlaxitud de los ligamentos articulares en esta época de la vida, y a la persistencia de una almohadilla de grasa en la bóveda plantar del pie, que nos da la apariencia de un *falso pie plano*.

La deformidad en cavo del pie, también es un motivo frecuente de consulta, sobre todo en edad escolar a partir de los 4 años, bien porque los padres hayan observado un desgaste anormal del zapato, o por los reconocimientos escolares.

Podemos definir el Pie Cavo como una "Deformidad caracterizada por un aumento excesivo de la bóveda plantar, con una desviación del retropié en varo o valgo".

Hay muchas causas que pueden provocar un Pie Cavo, siendo las más frecuentes, las enfermedades de tipo neurológico (Polio; Ataxia de Friedrich; Parálisis Cerebral; etc.), pero una vez descartadas dichas posibilidades patológicas, nos queda el llamado *Pie Cavo Esencial o\_Idiopático\_*que es aquel que presenta un aumento de la bóveda plantar sin que encontremos una causa que lo justifique, [1]

## II DESARROLLO

## A. Descripción General del Sistema.

La Figura 1, muestra el diagrama a bloques del sistema para el prediagnóstico de las malformaciones del pie; en

donde, de acuerdo al estado del arte que se ha realizado debemos indicar que la limitación del alcance de nuestro

sistema se debe directamente a la limitación del estudio del pie ya que el sistema se basa únicamente en el análisis de

la huella lo que conlleva que la cantidad de malformaciones se limite a las siguientes:

- 1. Pie normal.
- 2. Pie normal con desviación en varo.
- 3. Pie normal con desviación en valgo.
- 4. Pie plano de primer grado.
- 5. Pie plano de segundo grado.
- 6. Pie plano de tercer grado.

- 7. Pie plano valgo de primer grado.
- 8. Pie plano valgo de segundo grado.
- 9. Pie plano valgo de tercer grado.
- 10. Pie cavo de primer grado.
- 11. Pie cavo de segundo grado.
- 12. Pie cavo de tercer grado.

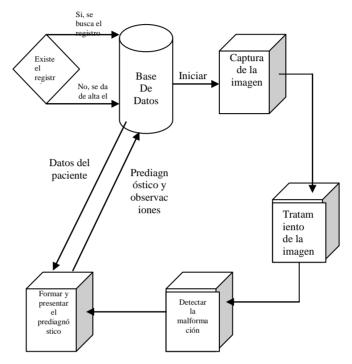


Figura 1. Diagrama a bloques del sistema

En general, el sistema cuenta con una entrada principal que es la imagen de la huella y una salida que es el prediagnóstico. Los datos del paciente son entradas secundarias ya que de cierta manera es información que compete al doctor o usuario final. El sistema está constituido de la siguiente manera: debe de contar con una base de datos para que se tengan almacenados datos del paciente como una clave y su nombre, primero se debe de notificar si ya existe dicho registro o es uno nuevo. Después se procede a ser la captura de la imagen, el tratamiento de ella y la detección de la malformación. Por último, se organiza la información recibida en el sistema y se arma el resultado del prediagnóstico.

#### 2.1 Módulo de Captura de la Imagen

Como se ha indicado tenemos que capturar la imagen de la huella del pie de forma digitalizada para poder trabajar sobre ella. Además, es el primer proceso de importancia que ejecutará el sistema pues es la información base para encontrar la malformación, de ahí la importancia de la elección de los elementos para la captura y el proceso para llevarla a cabo.

Este módulo consiste en la adquisición de la imagen digital. Para ello se necesita de un sensor de imágenes y la posibilidad de digitalizar la señal producida por el sensor. El sensor puede ser una cámara de televisión, monocroma o de color. El sensor de imágenes puede ser también una cámara de barrido de líneas que produzcan una línea de la imagen cada vez. Si la salida de la cámara o de otro sensor no está todavía en forma digital, puede emplearse un convertidor analógico-digital para digitalizarla. La naturaleza del sensor y la imagen que produce vienen determinadas por la aplicación, [2]

Para la captura de la imagen debemos tomar en cuenta que la propuesta para implementarla fue diseñar un prototipo que permitiera realizarla y que consiste en una base parecida a un podoscopio y una cámara digital, este prototipo se muestra en la Fig. 2.

De acuerdo a la Fig. 3, la captura se realiza a través de los siguientes elementos: Cámara Digital, Tarjeta de Captura WinVisionPro y Computadora Personal.



Figura 2. Prototipo para el módulo de captura, en su interior una cámara digital.

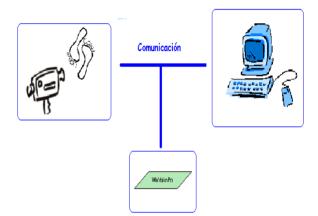


Figura 3. Elementos de captura.

#### 2.2 Módulo de Tratamiento de la Imagen

La imagen pasa por una serie de procesamientos antes de mandarla al siguiente módulo, este proceso es el siguiente, [2]:

-Negativo de la imagen.- Los negativos de las imágenes digitalizadas son útiles en numerosas aplicaciones, como la representación de imágenes médicas. La idea es convertir el orden de blanco a negro, de forma que la intensidad de la imagen de salida disminuya conforme la intensidad de la imagen de entrada aumente. El negativo de una imagen no es otra cosa que la inversión de sus valores de color.

Lo que obtenemos es la imagen tal y como aparece en los carretes de fotos cuando se revelan (no en el papel, sino en la película). El efecto de negativo ya ha sido comentado cuando se trató el tema de las modificaciones de histograma. Allí se indicaba que existían formas más eficientes de implementar ciertos procesados.

Para el caso del negativo solo es necesario aplicar la siguiente operación sobre cada uno de los píxeles de nuestra imagen en escala de grises: nuevo\_pixel=255-viejo\_pixel.

Como se puede comprobar si el pixel tenía el valor 0 (negro) su nuevo valor pasaría a ser 255 (blanco) y de forma análoga un valor 255 (blanco) se convertiría en el valor 0 [2].

-Umbralización.- En el presente trabajo se utiliza la umbralización fija, se puede usar en aquellas imágenes en las que existe suficiente contraste entre los diferentes objetos que se desean separar. Así, se puede establecer un valor fijo que marque el umbral de separación sobre el histograma. Para obtener dicho umbral se debe disponer de información sobre los niveles de intensidad de los objetos a segmentar y del fondo de la imagen. De esta forma la imagen binaria resultante B(i, j) se define a partir de la imagen digital original I(i, j) en función de un valor U que corresponde al umbral de separación seleccionado.

Como puede deducirse, la elección de un valor de umbral correcto resulta decisiva para llevar a cabo la segmentación de una imagen de manera satisfactoria. La obtención del umbral se basa en el histograma de la imagen. Cuando en el histograma se aprecian uno o más lóbulos, éstos suelen corresponder con una o varias zonas de la imagen, las cuales comparten niveles de intensidad similares. Estos objetos pueden ser directamente los objetos a segmentar o corresponder a partes homogéneas de objetos más complejos. Lógicamente, la transición de un lóbulo a otro se corresponde con un mínimo del histograma, siendo estos mínimos puntos sobre los que se suele umbralizar. La búsqueda de dichos mínimos (basado en el cálculo de derivadas), se encuentra dificultada por la naturaleza ruidosa del histograma. Para atenuar este problema suele aplicarse un filtro de suavizado sobre el histograma de la imagen.

#### 2.3 Módulo de Detección de las Malformaciones

Como se ha descrito en los apartados anteriores primero se realiza la captura de la imagen y después se le aplica un tratamiento para eliminar el ruido e información innecesaria y obtener valores que nos permitan detectar qué deformidad presenta el pie, [1].

Se determinó que con las características que presenta cada malformación es posible establecer una base de conocimientos o conjunto de reglas y así generar un sistema experto para resolver este problema.

Dentro de las observaciones que se han realizaron por diferentes investigadores, se pudo detectar que no existe límite establecido, en cuanto a un valor numérico preciso, que diga qué deformidad se presenta ya que basándonos en la teoría podemos ver que los tipos de pies se limitan de una forma vaga o imprecisa pues las variaciones se establecen poco a poco así un pie puede verse como poco normal y caer en plano, o bien, poco plano y caer en normal. Lo mismo se presenta para el caso del pie cavo ya que no es preciso decir en qué momento el pie deja de ser normal para caer en cavo. Obsérvese que hacer hincapié en el tipo de pie es importante debido a que es el punto de partida para completar la deformidad buscando su grado y su desviación, [1].

Aunque también debemos considerar que las características para determinar éstos últimos tienen límites poco establecidos. En el presente trabajo se utiliza un sólo sistema experto difuso o unidad de inferencia difusa (UID). Un sistema difuso se basa en tres bloques: Fusificación, Mecanismo de inferencia (Evaluación de Reglas) y Defusificación, [3].

- a) Fusificación.- La fusificación es un proceso de conversión para cambiar datos medidos del mundo real (entradas del sistema) a un valor lingüístico en el mundo de la lógica para lo cual se utilizan las funciones de membresía de las variables lingüísticas para calcular el grado de pertenencia (grado de verdad) para cada término en un conjunto; este es el primer paso y debe de ser realizado para cada variable de entrada, el resultado es utilizado como entrada al mecanismo de inferencia.
- b) Mecanismo de inferencia.- El mecanismo de inferencia (también llamado módulo de "motor de inferencia", "reglas de evaluación") permite interpretar y aplicar el conocimiento sobre como controlar mejor el sistema [3]. Las reglas de control son relaciones que se utilizan para expresar la relación existente entre los conceptos imprecisos y el comportamiento que gobierna al sistema que se quiere controlar, el experto debe desarrollar todo un conjunto de estas reglas -tantas como sean necesarias- para lograr una buena descripción del sistema a controlar. Cada regla tiene la forma de una declaración IF THEN. La parte IF de la regla contiene una o más condiciones, llamadas antecedentes. La parte THEN de la regla contiene una o más acciones, llamadas consecuencias. Los antecedentes de las reglas corresponden directamente al grado de membresía (entrada difusa) calculada durante el proceso de fusificación. La cantidad de reglas depende de todas las posibles combinaciones que se puedan dar entre las funciones de membresía de la entrada y la salida. Cada una de estas reglas cuentan con un grado de soporte o prioridad, el cual indica que regla contribuirá en mayor o menor parte a la salida generada por el sistema en determinado momento; la asignación de estos grados de soporte depende de la experiencia del diseñador en el proceso de control. El grado de soporte permite no ser tan radical en la evaluación de las reglas ya que permite tener una evaluación parcial de las mismas, [4].

c) Defusificación.- El resultado final del sistema lógico difuso es la determinación de un valor de salida real que pueda ser utilizado por la aplicación o proceso de control. El valor difuso (salida difusa) es convertido a un valor real (salidas del sistema) en el proceso de Defusificación. Existen varios métodos diferentes de Defusificación utilizados en los sistemas de lógica difusa. Cada método de Defusificación utiliza una fórmula matemática para calcular la salida final basado en la fuerza de todas las reglas lógicas que han sido disparadas. Las variables en las fórmulas son grados de membresía de entrada y salida. Para realizar la Defusificación se debe de contar con las funciones de membresía de la variable de salida. El tipo de sistema difuso que utilizamos fué el de Mamdani [4].

Las entradas en el sistema son las siguientes:

- a) Porcentaje de arco.
- b) Un valor Booleano de la presencia de supinación.
- c) Un valor Booleano de la presencia de pronación.
- d) Porcentaje del ancho de la huella.

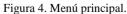
Las salidas del sistema son las tres observaciones que se puede hacer sobre el pie, es decir:

- 1) Tipo de pie, que nos determina si el pie es normal, plano o cavo.
- 2) Grados de las malformaciones, el pie plano y cavo tienen básicamente tres niveles.
- 3) Deformidad en valgo o varo para el pie normal y plano.

#### III. RESULTADOS

Para poder calcular la efectividad del sistema se hicieron pruebas con las imágenes de 100 niños que se tenían en la base de datos. El sistema presenta un menú principal (ver Fig. 4) y una interfaz grafica para el registro de los pacientes (ver Fig. 5), [5].





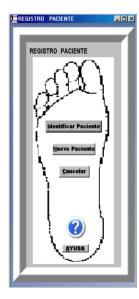


Figura 5. Registro de pacientes.

Los resultados fueron revisados por el ortopedista, así que de forma cualitativa determinaban si por la imagen que se mostraba lo que decía el sistema era correcto o no, así como por la experiencia del mismo médico. Cabe mencionar que pocas veces se pueden tener tipos de pie extremos en un mismo paciente. Esto es, es posible tener pie plano de primer grado y pie normal, o bien, pie normal y pie cavo de primer grado; pero raramente es normal que se presente pie plano en un pie y pie cavo en el otro.

Así, que con las consideraciones señaladas se pudo observar que de las 100 muestras, 85 resultaron con prediagnóstico favorable y 15 no. De aquí el hecho de haber determinado que el sistema cuenta con un 85% de eficiencia. Cabe mencionar que de los 15 pacientes de los que se detecto un error tenía que ver mucho con la forma en que se recargaban pues la imagen no permitía obtener valores correctos y por consiguiente el sistema experto arroja un error.

Por esto la eficiencia del sistema depende en su totalidad de la buena disposición de la persona para permitir que se obtenga una imagen conveniente. El sistema le mostrará una serie de pantallas entre las cuales se encuentran las mostradas en las figuras 6, 7 y 8, [5], [6].

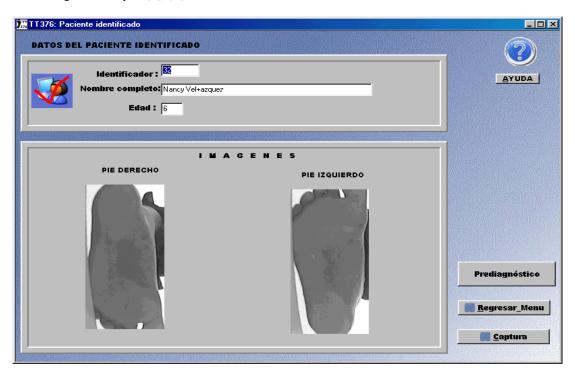


Figura 6. Identificación del paciente.

#### IV. CONCLUSIONES

La exploración ortopédica se inicia con el análisis estático del pie. Para el análisis clínico del pie son de gran ayuda las imágenes plantares, obtenidas con el podoscopio o con el podógrafo. En ellas se estudia la forma de la región plantar y la distribución de las zonas de carga, (ver Fig. 7).

Las impresiones que se obtienen en el podógrafo, son útiles para la elaboración de los soportes plantares, señalándose en ellos las correcciones que tiene que hacer el ortopedista.

En el podoscopio puede observarse cómo al principio de la carga del peso del cuerpo, el pie se ensancha, para después volverse a formar los arcos. En la huella normal, se marcan la zona de carga del talón, que tiene una forma más o menos elíptica, el talón anterior y los cinco dedos.

Las zonas de los talones están unidas por una banda externa, que en el adulto mide alrededor de 15mm en su parte central. Su borde interno es cóncavo hacia adentro. El eje de los talones anterior y posterior se proyecta en línea recta.

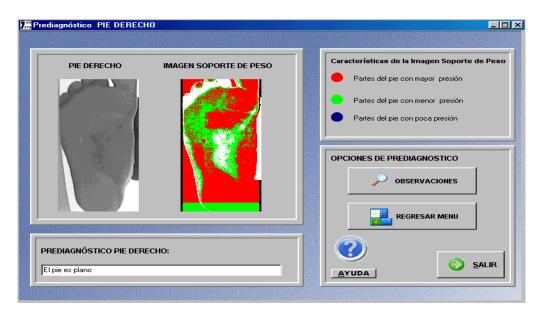


Figura 7. Prediagnóstico de PIE DERECHO.

La huella obtenida con el podógrafo es uniforme en toda su extensión. Lo que se ha explicado es en lo que se basa el diseño del sistema, ya que con la imagen digitalizada se pueden tener las observaciones que dan el podoscopio y el podógrafo, (ver Fig. 8).



Figura 8. Prediagnóstico de PIE IZQUIERDO.

Concluyendo, el sistema consta de 4 fases importantes: Captura de la imagen digital, tratamiento de la imagen digital, detección de la malformación a través de los datos encontrados en la imagen por medio de un sistema de experto difuso y lo último es enviar los resultados para armar y presentar el prediagnóstico al médico ortopedista, [6], [7]. Se le ha agregado una base de datos para guardar información relacionada con el paciente.

El sistema es capaz de reconocer 12 malformaciones del pie, las cuales se pueden detectar confiablemente con sólo analizar la huella del pie. El sistema reporta una eficiencia del 85%, recordando que es fundamental que el paciente se suba a la base y pise como normalmente lo hace. La ambigüedad que tiene la ortopedia para establecer en qué punto el pie presenta o no alguna de estas deformaciones se trató con la lógica difusa a través de la teoría de conjuntos difusos y operadores difusos, [6], [7].

## V. REFERENCIAS

- [1] Staheli L. T: Practice of Pediatric Orthopedics, Ed. Lippincott; Williams & Willkings 2001
- [2] C. González R., E. Woods R.: Tratamiento Digital de Imágenes; Addison Wesley Iberoamericana S. A., 1996.
- [3] Demouth H., Beala M.: Manual, Help de MatLab, archivo: MATLABR11\help\pdf\_doc\fuzzy\fuzzy\_tb.pdf; MATLAB de MATHWORKS. EU: MATHWORKS (1999).
- [4] Timothy J. Ross "Fuzzy Logic with Engineering Applications", McGraw-Hill. Inc, U.S., 1995.
- [5] Durán C. E. R., Ríos de la T. I., Torres M. J. J.: Sistema Experto Inteligente Aplicado a la Ortopedia; RISCE noviembre 2009.
- [6] Durán C. E. R., Acosta B. R.: Entorno de Desarrollo para el diseño y Simulación de Sistema Difusos; RISCE enero 2009.
- [7] Teodorescu H. -N., Kandel Abrhan. Jain L.C.: Fuzzy and Neurofuzzy Systems in Medicine; Ed CRC Press LLC, 1999

## **VI.** Extractos Curriculares

**Edmundo René Durán Camarillo** obtuvo la Maestría en Ciencias por el Centro de Investigaciones y Estudios Avanzadas del Instituto Politécnico Nacional (CINVESTAV-IPN), México (1994) y es Ingeniero en Electrónica por el Instituto Tecnológico de Orizaba, Veracruz, México (1993). Actualmente, es profesor Investigador titular y profesor colegiado de la SEPI en la Escuela Superior de Cómputo del IPN, México. Sus áreas de interés son: Automatización y Control, Inteligencia artificial, Sistemas Neurodifusos, Redes Neuronales Artificiales, y Sistemas Expertos.

José Luis Calderón Osorno obtuvo la Maestría en Ciencias por el Centro de Investigaciones y Estudios Avanzadas del Instituto Politécnico Nacional (CINVESTAV-IPN), México (1995) y es Ingeniero en Electrónica por el Instituto Tecnológico de Orizaba, Veracruz, México (1991). Actualmente es profesor Investigador Titular en la Escuela Superior de Cómputo del IPN, México, y sus áreas de interés son: Inteligencia artificial, redes neuronales artificiales, y sistemas inteligentes.

**Juan José Torres Manríquez** es miembro del Sistema Nacional de Investigadores, Nivel 1, Doctor en Ciencias especialidad es Física por la ESFM-IPN, México (2001), Maestro en Ciencias con especialidad en Física por la ESFM-IPN (1996), y es Licenciado en Fisicomatemáticas por la ESFM-IPN (1992). Actualmente, es Profesor Investigador del Departamento de Posgrado de la ESCOM-IPN; sus áreas de interés son: Sistemas Inteligentes, Sistemas Neurodifusos, Redes Neuronales Artificiales y Técnicas de GABOR, así como Física de Partículas Elementales.

## Sistema Informático para el Diagnóstico Médico de Cáncer en la Piel

Edmundo R. Durán Camarillo, José L. Calderón Osorno, Ignacio Ríos de la Torre Escuela Superior de Cómputo del IPN, Departamento de Posgrado. Av. Juan de Dios Batíz y Miguel Othon de Mendizabal S/N, Col. Lindavista, CP. 07738, México D.F. eduranc@ipn.mx jcalderono@ipn.mx irios@ipn.mx

Resumen. Se presenta un sistema informático para el diagnóstico del melanoma (cáncer en la piel) maligno, se emplean técnicas de tratamiento digital de imágenes, sistemas expertos difusos y bases de datos. El sistema captura una imagen de un melanoma en una persona; la procesa en tiempo y brinda el posible diagnóstico para la lesión analizada, tomando en cuenta las características físicas de la persona. Los procedimientos realizados son los siguientes: captura y procesamiento de la imagen de la lesión, aplicación de la regla dermatoscópica, determinación de la irregularidad de los bordes, identificación del color y del diámetro de la lesión, obtención del pronóstico ante la presencia de un melanoma y emisión de un diagnóstico utilizando un sistema experto difuso. Con el sistema desarrollado, se puede inferir si se trata de un melanoma benigno o maligno.

Palabras Clave: Melanoma, Dermatoscopía, Análisis de imágenes, Sistema Difuso.

**Abstract.** This article presents an application for diagnosis of malignant melanoma, treatment digital imaging techniques are used, fuzzy expert systems and databases. The system captures an image of a human melanoma; the time processing provides the potential for injury pre-diagnosis analyzed by taking into account the physical characteristics of the person. The procedures performed are: capture and processing of the image of the lesion, application of the rule Dermatoscopy, identifying irregular edges, color identification and the diameter of the lesion, obtaining the prediction in the presence of a melanoma and issuance of a diagnosis using a fuzzy expert system. The developed system can to infer a benign or malignant melanomas.

Keywords: Melanoma, Dermatoscopy, Image Analysis, Fuzzy Systems.

#### I INTRODUCCIÓN

En lo concerniente al cáncer de piel, el melanoma es una patología frecuente en la consulta dermatológica. En los últimos años se ha puesto mayor cuidado en el estudio del melanoma, debido a que la frecuencia del melanoma maligno se ha elevado en todo el mundo. Aproximadamente, una de cada 128 personas puede desarrollar melanoma maligno en el curso de su vida y se estima que para los próximos años, esta tasa va a aumentar a una de cada noventa personas [1], [2], [3],.

Ante estos argumentos, los diferentes grupos médicos que trabajan en cáncer de piel, se han preocupado por dar mayor información al personal de salud y público en general sobre el melanoma maligno y sus precursores. Esta demanda ha propiciado que se busquen métodos de diagnóstico auxiliares, que le permitan a los especialistas establecer con prontitud la naturaleza benigna o maligna de una lesión de la piel. La aparición de la dermatoscopía o microscopía de la superficie de la piel, la cual es una técnica diagnóstica sencilla, incruenta, rápida, de bajo costo, y capaz de proporcionar datos suficientes para el diagnóstico diferencial entre tumores cutáneos pigmentados benignos y malignos, permite establecer rápidamente consideraciones terapéuticas acertadas y elaborar el pronóstico pertinente. La misma se fundamenta en la observación minuciosa de la lesión con el empleo de una cámara de vídeo y un haz de luz blanca. A este proceso se le llama epiluminiscencia.

- 1).- *Melanoma humano*: El melanoma maligno es un cáncer que se origina a partir de los *melanocitos* cutáneos; es decir, de las células encargadas de producir el pigmento necesario, conocido como melanina, para que la piel se broncee. Cuando aparece la patología, las células cancerosas se dividen y reproducen sin ningún control, formando a menudo tumores o abultamientos. Si no se descubre cuando apenas comienza, el melanoma puede desplazarse a otras partes del cuerpo del enfermo. Cuando el cáncer se haya extendido al cerebro, hígado, otros órganos y a los ganglios, se le llama *metástasis* [4] [5] [6].
- 2) *Tipos de melanomas*: En la Tabla 1 se describen algunos de los tipos de melanoma, de donde, se puede observar que las características distintivas entre ellos son muy escasas [2], [7].
- 3) Factores Condicionantes: Existen factores que incrementan la probabilidad de desarrollar melanoma a lo largo de la vida. Los cuales son los siguientes: edad, sexo, color de la piel, color del cabello, color de los ojos, exposición solar intensa, localización, padecimiento previo, antecedentes familiares, presentación de muchos nevos (lunares), evolución, hemorragia, ulceración, regresión e inflamación [1] [3].

Tabla 1. Formas clínicas del melanoma maligno.

Características	Lentigo Maligno (LM)	Melanoma de Diseminación (SSM)	Melanoma Nodular (NM)	Melanoma Acral (AM)
Edad	≥ 63	30-57	≥ 50	
Sexo	Indistinto	Indistinto	Indistinto	Indistinto
Padecimiento Previo			Si	
Exposición Solar			Diario	
Cabello	Rojo, rubio y castaño claro			
Piel	Blanca, Morena clara y Morena Oscura	Blanca	Morena clara y Morena Oscura	Negra y Amarilla
Antecedentes				
Localización	Cara o Brazos	Torso o piernas		Palmas, planta del pie o uñas
Asintomático				
Evolución	Sí			
Diámatea	2 20 200	0 25		0 10

4) Características principales del melanoma: Para realizar el análisis de la lesión de una forma similar a la que la realiza un Oncólogo, es necesario obtener sus características principales. En su conjunto éstas reciben el nombre de Regla Dermatoscópica ABCD, la que se define en la Tabla 2 [3], [6].

Tabla 2. Características principales del melanoma.

Características	Definición
<b>A</b> Asimetría	Una mitad es distinta de la otra.
<b>B</b> Borde	Son irregulares, festoneados o mal delimitados.
C Color	Cambios de color en la misma lesión; puede adquirir tonalidades de azul, marrón o rojo.
<b>D</b> Diámetro	Mayor de 6 mm (tamaño de la goma de borrar del lápiz).

## II METODOLOGÍA

En la Fig. 1 se muestra las partes básicas del sistema para la identificación de la malignidad de un melanoma humano desarrollado. En ésta interactúan el paciente y los factores condicionantes. Del primero se obtiene la lesión y sus datos particulares; los datos son capturados por el médico, quien será el administrador y usuario final. Con la imagen obtenida de la lesión y los factores condicionantes, el sistema le proporcionará al médico toda la información necesaria para la toma de la decisión final; es decir, el prediagnóstico de que si efectivamente se trata de un tumor maligno o no.



Figura 1. Partes básicas del sistema.

## II.1 Descripción del Sistema

A continuación se presenta una breve descripción de los módulos que conforman el Sistema desarrollado.

1) Procesamiento de la imagen de la lesión: Para iniciar el proceso que permitirá llegar al diagnóstico de la lesión, se hizo necesario el empleo de una cámara de vídeo digital en colores para la toma de las imágenes directamente de la lesión localizada en el paciente. La imagen capturada es almacenada temporalmente en formato BMP ("bitmap") de 24 bits/píxel.

El primer paso para realizar *el procesamiento de la imagen*, es convertirla a niveles de gris, para lo cual se emplea el modelo YIQ. En este modelo, las componentes I (matiz) y Q (saturación) están asociadas al color. Por otro lado, la componente Y (brillo) se refiere a la luminancia, magnitud ésta asociada a la cantidad de iluminación que le llega a un píxel en particular, la que precisamente representa su nivel de gris [10]. La ecuación (1), es utilizada para calcular la luminancia Y esto es:

$$Y = 0.299R + 0.587G + 0.114B$$
 (1)

Las imágenes en colores de una lesión y la resultante en niveles de gris, se muestran en las Fig. 2a y 2b, respectivamente.





Figura 2. a) Imagen de la lesión en colores. b) Imagen de la lesión en niveles de gris.

Después, se realizó *la segmentación y el umbralamiento*: La primera operación que se hizo fué segmentar la lesión, la cual se llevó a cabo mediante el umbralamiento automático, con ayuda del histograma de la imagen en niveles de gris. Su objetivo es aislarla de todo lo que la rodea, para realizar adecuadamente su posterior análisis. La técnica de umbralamiento más simple está basada en lo siguiente: suponiendo (a) la imagen original, (b) la imagen resultante o imagen segmentada y (m, n) las coordenadas de cada píxel de la imagen, se elige un parámetro  $\alpha$ , denominado umbral de brillo (intensidad) y se plantea la condición siguiente: Si a[m, n]  $\geq \alpha$  entonces b[m, n]=1; en caso contrario,

b[m, n]=0. El umbral elegido  $\alpha$  difiere cada vez, lo que depende del dominio y del número de objetos que se quieran segmentar. El umbralamiento convierte una imagen de niveles de gris en una nueva imagen con sólo dos niveles (binaria). A este proceso se le llama binarización.

Para realizar la segmentación por umbralamiento, la imagen en escala de grises se preprocesó con un filtro pasa bajas promediador de 3x3 píxeles para suavizarla; esto es, para eliminarle el posible ruido aditivo (o uniforme) que la pueda acompañar. Con ello se mejoró la calidad de la imagen inicial para la realización de los procesamientos posteriores y se eliminó la eventual presencia de vellosidad en la misma. En la Fig. 3 se muestra la imagen ya segmentada.



Figura 3. Imagen de la lesión segmentada.

2) Aplicación de la regla dermatoscópica: En el primer paso, se realiza la identificación de la asimetría de la lesión, la cual se realiza comparando una mitad de la lesión, que abarca 180°, con la otra mitad, para determinar si son iguales o diferentes. Dado

que las imágenes que se obtienen pueden ser simétricas en algún ángulo dentro de los 180°, se realizó el seccionado de la imagen en dos partes, tanto por el eje X como por el eje Y, con el origen de coordenadas en su centroide. Después, se compararon correspondientemente la mitad superior con la mitad inferior y la mitad del lado derecho con la mitad del lado izquierdo. Este proceso siempre se realiza desde el exterior de la imagen hacia el centroide. Una vez realizadas las comparaciones, se rota la imagen cada vez 1º hacia la derecha y se realiza nuevamente todo el proceso de comparación hasta alcanzar los 45°. Con ello se asegura que se han probado todas las posibilidades de comprobar si la lesión es simétrica o asimétrica. Así, se evitan los problemas que pueda ocasionar una lesión con la forma de luna que se muestra en la Fig. 4, donde el centroide cae fuera de la misma.

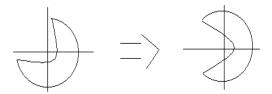


Figura 4. Figura simétrica.

Esta forma genera un error al comparar secciones. Como se puede observar, la imagen es simétrica, pero de acuerdo al análisis propuesto indicaría ser asimétrica. Para la solución de este problema, es necesario rotar la imagen y calcular cada vez el seno, el coseno y la tangente del ángulo que forman los puntos de su frontera respecto al centroide.

En el segundo paso, se realiza *la determinación de la irregularidad de los bordes en la lesión*, para la medición de la irregularidad se utilizó el concepto de *cerco convexo*. Un conjunto de puntos A en un plano se dice ser convexo, si cualquier segmento de línea recta que une dos puntos de la frontera de A, está completamente en A. El cerco convexo H de cualquier conjunto S arbitrario, es el conjunto convexo que contiene a S. El conjunto diferencia H – S es llamada la *deficiencia convexa* de S. El cerco convexo y la deficiencia convexa, son útiles para la descripción de los objetos gráficos [2] [8]. Una forma de obtener el cerco convexo es localizar los puntos más lejanos y unirlos por líneas rectas como se muestra en la Fig. 5.

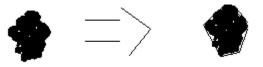


Figura 5. Determinación del cerco convexo con el algoritmo original.

Este algoritmo no se ajustaría directamente a las lesiones provocadas por los melanomas, debido a que todos los nevos normales se ajustan a una elipse o a una forma cercanamente a la circular. Por lo tanto, en nuestro caso este algoritmo lo hemos modificado en el sentido de que lo que envuelve a nuestros objetos tenga siempre la forma de una circunferencia o

de una elipse. Así puede determinarse cuán irregular tiene los bordes la lesión que se analiza.

Mediante la localización de los puntos máximos y mínimos por X y Y, además de los extremos (puntos más lejanos), el sistema traza una elipse alrededor de la lesión. Seguidamente se procede a replicar la elipse en la misma posición, la cual rellenamos y digitalizamos. Finalmente, sustraemos píxel a píxel una de la otra y se halla, sobre la base del número de píxeles obtenido respecto al total de la imagen original, la deficiencia convexa buscada, Fig. 6. Al multiplicar el resultado por 100, se obtiene en por ciento la irregularidad que presentan los bordes de la imagen original del melanoma [8] [10].



Figura 6. Obtención de la irregularidad de los bordes de la lesión.

Se puede notar que existen puntos que no pertenecen a la deficiencia convexa, por lo que se aplicó una apertura morfológica con un elemento de estructura lineal vertical de un número de píxeles mayor que los mismos para eliminarlos.

En el tercer paso en la aplicación de la regla dermatoscópica, se realiza *la identificación del color de la lesión*, al respecto como las imágenes de las lesiones fueron capturadas con una cámara fotográfica digital de color con una resolución de 24 bits por píxel en el modelo **RGB**, **R** (red: rojo), **G** (green: verde) y **B** (blue: azul), 8 para cada color: rojo, verde y azul, pueden obtenerse imágenes con un total de 16.7 millones de colores (256 x 256 x 256) como máximo. Esto hizo necesaria su reducción con el fin de facilitar el análisis. Para ello se utilizó la Paleta de Color Seguro (PCS)- Color Safe Palette, que reduce su número a sólo 216 colores [8] [9].

Cada uno de los colores de la paleta surge de la combinación de uno de los 6 posibles valores para cada uno de los colores **RGB**, almacenados en la imagen en la secuencia mostrada para cada píxel. Para realizar esta reducción, se utilizaron las reglas de transformación para el color de cada píxel que aparecen en la Tabla 3. Los valores que se obtienen de esta transformación, ya pertenecen a los de la Paleta de Color Seguro.

Grupo de color	Rango de la componente original	Valores de la componente final
1	$0 < R, G, B \le 25$	0
2	$26 < R, G, B \le 76$	51
3	$77 < R, G, B \le 127$	102
4	$128 < R, G, B \le 178$	153
5	$179 < R, G, B \le 229$	204
6	230 < R G B < 255	255

Tabla 3. Reglas de transformación de 24 bits/píxel a 6 bits/píxel.

La Paleta de Color Seguro fue llevada al médico especialista de piel para que determinara los colores que, de acuerdo con sus conocimientos y experiencia, aparecen normalmente dentro de la lesión de un melanoma maligno.

En este punto ya se tienen dos imágenes: la imagen binaria en la cual se tiene segmentada la lesión y la imagen en colores. Con los colores de la paleta seleccionados por el especialista, se explora la imagen en colores capturada, para determinar si aparecen píxeles con aquellos que se presentan en los melanomas malignos. Para evitar detectar los colores que presenta la piel del paciente, sólo se toman en cuenta aquellos píxeles en los que su correspondiente en la imagen binaria sea igual a cero (por ser negros), o sea, sólo se tienen en cuenta los que pertenezcan a la lesión.

Una vez realizada la identificación de los colores preestablecidos por el especialista dentro de una lesión, sólo se tomaron en cuenta aquellos que se presentaron en una proporción superior al 30% del total que tiene la lesión. Debido a que el conteo es sólo del número de píxeles que aparecen dentro de la lesión, se hizo esta restricción para eliminar aquellos que por su número no pueden ser apreciados por la vista humana.

Por último, se realizó la identificación del diámetro en la lesión. Para hallar dicho diámetro se calculó la distancia entre los puntos máximos y mínimos, tanto por la abscisa como por la ordenada, ver la Fig. 7. Para saber el tamaño de la lesión, se utilizaron las ecuaciones (2) y (3), respectivamente:

Ancho en 
$$milímetros = (Max A - Min A)/6.8$$
 (2)

Alto en milímetros = (Max O - Min O)/4.187

(3)

#### Donde:

Max A = Máxima abscisa.

Min A = Mínima abscisa.

Max O = Máxima ordenada.

Min O = Minima ordenada.

Los valores 6.8 y 4.187 en las ecuaciones (2) y (3), son las proporciones de los píxeles por milímetro horizontal y vertical, respectivamente, calculados mediante un proceso de calibración, entre los valores hallados en donde, prevalecerá el máximo valor que será el que se le presente al medico.



Figura 7. Cálculo de distancias en la lesión.

- 3) Obtención del Pronóstico ante la presencia de un melanoma: El pronóstico indica la capacidad que tiene el paciente en desarrollar melanomas malignos, basándose en sus datos clínicos. Este dato es de extrema importancia al realizar el prediagnóstico final. Mientras menor sea el pronóstico del paciente, el prediagnóstico será más favorable. El pronóstico es el primer dato en el que el médico se basa para crear su propio diagnóstico, sobre la base de su experiencia y del resto de las investigaciones realizadas. La generación del pronóstico se ha hecho de acuerdo a los datos siguientes proporcionados por el Dr. Ladislao de la Pascua del hospital Dermatológico de la ciudad de México: edad, sexo, número de nevos, exposición solar intensa, color de los ojos, color del cabello, color de la piel, y presencia de antecedentes. Con dichos datos se genera el pronóstico, basándonos en el contenido de una tabla de estadísticas de incidencias del melanoma proporcionada por el Hospital Dermatológico.
- 4) Emisión del prediagnóstico ante la presencia de un melanoma: La emisión del prediagnóstico se realizó por medio de la implementación de un sistema experto difuso. El sistema difuso se compone de las siguientes etapas: fusificación, evaluación de reglas, defusificación y una base de conocimientos. Esta última está compuesta a la vez, por los conjuntos difusos definidos para las entradas y salidas del sistema y por el conjunto de reglas difusas definidas para la aplicación. El número total de reglas creadas es de 243, en la Tabla 4 se muestran algunas de ellas [11], [12], [13], [14], [15].

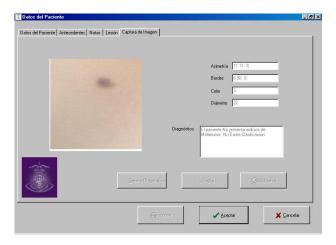
Tabla 4. Reglas de inferencia difusa en formato "if ... then ..."

Antecedentes	Consecuentes
if Asimetría is Simétrico and Bordes is Regular and Color is Uniforme and Diámetro is	
Pequeño and Pronóstico is Bueno	Ş= ,
if Asimetría is Simétrico and Bordes is Regular and Color is Uniforme and Diámetro is	then Diagnóstico is Regular;
Pequeño and Pronóstico is Pesimo	
if Asimetría is Simétrico and Bordes is Regular and Color is Uniforme and Diámetro is	then Diagnóstico is Muy_Bueno;
Mediano and Pronóstico is Bueno	
if Asimetría is Simétrico and Bordes is Regular and Color is Uniforme and Diámetro is	then Diagnóstico is Bueno;
Mediano and Pronóstico is Malo	
if Asimetría is Medianamente_Simétrico and Bordes is Regular and Color is Uniforme	then Diagnostico is Muy_Bueno;
and Diámetro is Pequeño and Pronóstico is Bueno	
if Asimetría is Mediadamente_Simetrico and Bordes is Regular and Color is Uniforme	then Diagnóstico is Bueno;
and Diámetro is Pequeño and Pronóstico is Malo	
if Asimetría is Medianamente_Simétrico and Bordes is Regular and Color is Uniforme	then Diagnóstico is Moderado;
and Diámetro is Pequeño and Pronóstico is Pesimo	
if Asimetría is Medianamente_Simétrico and Bordes is Regular and Color is Uniforme	then Diagnóstico is Moderado;
and Diámetro is Mediano and Pronóstico is Bueno	
if Asimetría is Medianamente_Simétrico and Bordes is Regular and Color is Uniforme	then Diagnóstico is Moderado;
and Diámetro is Mediano and Pronóstico is Malo	
if Asimetría is Asimétrico and Bordes is Irregular and Color is Muy_Decolorado and	then Diagnóstico is Malo;
Diámetro is Mediano and Pronóstico is Malo	
if Asimetría is Asimétrico and Bordes is Irregular and Color is Muy_Decolorado and	then Diagnostico is Pesimo;
Diámetro is Mediano and Pronóstico is Pesimo	
if Asimetría is Asimétrico and Bordes is Irregular and Color is Muy_Decolorado and	then Diagnóstico is Malo;
Diámetro is Grande and Pronóstico is Bueno	
if Asimetría is Asimétrico and Bordes is Irregular and Color is Muy_Decolorado and	then Diagnóstico is Pesimo;
Diámetro is Grande and Pronostico is Malo	

En el desarrollo del proyecto se utilizó la inferencia difusa propuesta por Mamdani; basada en los operadores difusos mínimo y máximo y por último en el proceso de defusificación se utilizó el método del Centroide.

## III RESULTADOS

Pruebas Realizadas.- Las pruebas que se le hicieron al sistema para la identificación del melanoma humano consistieron en el análisis de 30 imágenes de casos clínicos, con las que se logró un 90% de certeza al realizar el prediagnóstico de melanomas. En las Figuras 8 hasta la 13 se muestran algunos de los resultados obtenidos.



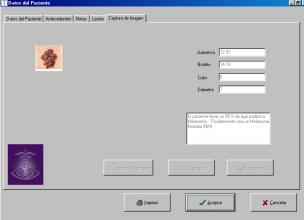
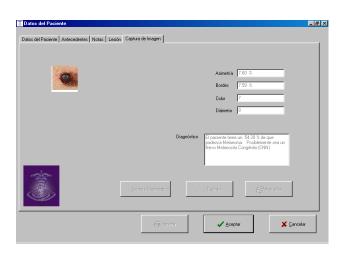


Figura 8. Resultado de un Nevo normal .

Figura 9.

Resultado de un melanoma nodular.



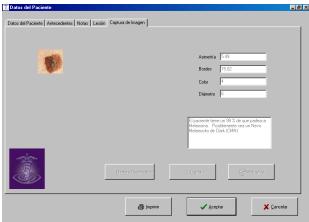
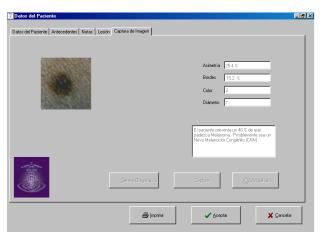
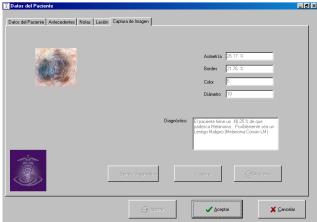


Figura 10. Resultado de un Melanoma Congénito . Resultado de un Melanocito de Clark.

Figura 11.





lesiones pigmentadas en la piel. Esto permite

agilizar el proceso de identificación de las lesiones y podría evitarse la realización de cirugías innecesarias. El procesamiento de las imágenes digitales brinda una significativa ayuda al extraer características específicas que para el ojo del ser humano pasan inadvertidas. Esto podría incrementa la certidumbre y el grado de aceptabilidad del diagnóstico final.

El trabajo contó con la asesoría de un médico, el cual tenía su centro de trabajo dentro del Centro Médico Siglo XXI, de la ciudad de México, por lo que las pruebas realizadas con pacientes que tuvieran una posible lesión cancerígena en la piel fueron realizadas dentro de dicho hospital, el cual no cuenta con tecnología capaz de optimizar la emisión de un diagnóstico.

Para el desarrollo del proyecto se emplearon diversas herramientas y técnicas que permitieron realizar un buen trabajo. Una de ellas es la llamada dermatoscopía, con la cual se obtuvieron imágenes óptimas de la lesión mediante el uso de una cámara digital de vídeo y el empleo de una fuente adecuada de luz blanca. Durante el análisis de las imágenes por el sistema se extrajeron las características particulares que en conjunto componen la Regla Dermatoscópica ABCD, las que definen el grado de malignidad de una lesión. Con estos resultados y con el pronóstico hallado a partir de los datos dados por el paciente, el sistema brinda el diagnóstico buscado.

### V REFERENCIAS

- [1] Álvarez M. J., Manual de Cancerología Básica, Ed. Secretaria de Salubridad y Asistencia.
- [2] Mireles Rocha Homero, Dermatoscopía, Ed. Medicina Cultura Centro Dermatológico Dr. Ladislao de la Pascua AMALAC, 1ª Edición, 1996.
- [3] Poole C. M., Guerra D., Melanoma Prevention, Detection and Treatment, Ed. Yale University Healt & Wellness.
- [4] Fitzpatrick T. B., Dermatología en Medicina Genética, Vol. 1", Ed. Médica Panamericana S.A., Buenos Aires, 1997.
- [5] Fitzpatrick J., Polano S., Atlas de Dermatología Clínica, Ed. Hispanoamericana, Mc Graw Hill, 2ª. Edición, 1994.
- [6] Friedman R. J., Rigel D. S., Kopf A. W., Harris M. N., y Baker D., "Cáncer de piel", Ed. Médica Panamericana, 1993.
- [7] García A. M., Mohar A. B., Manual Moderno Principales neoplasias malignas en México, Ed Mc Graw Hill 2<sup>a</sup>. Edición, 1999.
- [8] Castleman K. R., Digital Image Processing, Ed. Prentice Hall, Inc, 1996, U.S.A.
- [9] Crane R., A Simplified Approach to Image Processing, Ed. Prentice Hall PTR, 1997, U.S.A.

- [10] González R. C., Woods R. E., Tratamiento Digital de Imágenes, Ed. Addison-Wesley/Díaz de Santos, 1996.
- [11] Meza X M., Velásquez A I., B. A. López P., Sistema computarizado para la detección del melanoma humano, Trabajo Terminal 312, Escuela Superior de Cómputo, I. P. N, México D.F., 2002.
- [12] Timothy J. Ross, Fuzzy Logic with Engineering Applications, McGrawHill, 1995.
- [13] Tsoukalas L. H., Uhrig R. E., Fuzzy and Neural Approaches in Engineering, Eds. Wiley Interscience, 1997.
- [14] Durán Camarillo E. R., Rios de la Torre I., Torres Manriquez J.J., Sistema Experto Inteligente aplicado a la Ortopedia, RISCE noviembre 2009.
- [15] Durán Camarillo E. R., Acosta Bermejo R. Entorno de Desarrollo para el Diseño y Simulación de Sistemas Difusos; RISCE enero 2009.

## **AGRADECIMIENTOS**

Los autores agradecen al Instituto Politécnico Nacional a través de la Secretaria de Investigación y Posgrado por el apoyo económico recibido y las facilidades otorgadas para el desarrollo del proyecto de investigación, "Sistema Computacional para el Estudio y Prediagnóstico del Melanoma Humano, con registro 20082513"; del cual se deriva el presente artículo.

#### **EXTRACTOS CURRICULARES**

Edmundo René Durán Camarillo. Obtuvo la Maestría en Ciencias por el Centro de Investigaciones y Estudios Avanzadas del Instituto Politécnico Nacional (CINVESTAV-IPN), México (1994) y es Ingeniero en Electrónica por el Instituto Tecnológico de Orizaba, Veracruz, México (1993). Actualmente, es profesor investigador perteneciente al departamento de posgrado SEPI en la Escuela Superior de Cómputo del IPN, México, y sus áreas de interés son: Automatización y Control, Inteligencia artificial, Sistemas Neurodifusos, Redes Neuronales Artificiales, y Sistemas Expertos.

José Luis Calderón Osorno. Obtuvo la Maestría en Ciencias por el Centro de Investigaciones y Estudios Avanzadas del Instituto Politécnico Nacional (CINVESTAV-IPN), México (1995) y es Ingeniero en Electrónica por el Instituto Tecnológico de Orizaba, Veracruz, México (1991). Actualmente, es profesor investigador perteneciente al departamento de posgrado SEPI en la Escuela Superior de Cómputo del IPN, México, y sus áreas de interés son: Inteligencia Artificial, Redes Neuronales Artificiales, Algoritmos Genéticos, Sistemas Neurodifusos, , y Sistemas Expertos, Diseño de Circuitos Integrados.

**Ignacio Ríos de la Torre.** Tiene la Maestría en Investigación de operaciones por la UNAM, México, (1996), Es Licenciado en Fisicomatemáticas por la ESFM-IPN (1992) y candidato al grado de maestro en sistemas de producción por el IPN. Actualmente, es profesor investigador perteneciente al departamento de posgrado SEPI y decano de la ESCOM-IPN; sus áreas de interés son: Probabilidad, Estadística, Inteligencia Artificial

## Instrucciones para los autores

Los artículos que se someten a **RISCE** deben contener resultados inéditos y originales, no haber sido publicados con anterioridad ni haber sido sometidos simultáneamente a otra revista científica. Si el artículo ha sido presentado, sometido o publicado en alguna otra parte, deberá informarse al coordinador editorial. Los artículos deben ajustarse a las siguientes especificaciones:

- o Idioma Inglés (anexar un resumen y palabras clave en español)
- o Idioma Español (anexar un resumen y palabras clave en Inglés)
- o Procesador de texto admitido: MS-Word.
- o Tamaño de página: carta, utilizar un solo lado de la hoja. Máximo 10 páginas.
- o Márgenes: izquierdo 2.5 cm y derecho 2 cm., superior 2.5 cm e inferior 2.5 cm.
- o Autores: primer nombre seguido de los dos apellidos (sin abreviaturas), abajo: afiliación y e-mail.
- o Tipo de letra del texto regular: Times o Times New Roman de 10 pt (título original 22 pt; secciones 11.5 pt, subsecciones 11.5 pt, en negritas).
- o Texto: a una columna y con espaciado sencillo (renglón seguido).
- o Resumen/Abstract: entre 70 y 150 palabras, colocado al principio del texto, seguido del de Español o inglés según sea el caso.
- o Palabras clave/Keywords: colocadas después del resumen en negritas, y no más de 10.
- Imágenes y fotografías: deben ser de alta calidad, con colores bien definidos y contrastantes, en mapa de bits (no sectorizadas) en formato JPG e incrustadas en el texto de forma que se puedan manipular independiente.
- o Fórmulas: Deberán de presentarse en formato de tabla sin bordes, centradas y la numeración de c/u justificada a la derecha con negritas en mapa de bits, no vectorizadas.
- Pies de figura. Deben mencionarse dentro del texto y numerarse de manera consecutiva con un tipo de letra Times New Roman 9 puntos
- Cabecera de tabla. Deberá presentase en la parte superior de la tabla un numeración consecutiva y descripción con tipo de letra Times New Roman 9
- o Referencias:

En cualquier caso el nombre del autor del artículo o publicación web deberá mostrarse al principio. Deberán ordenarse conforme aparezcan dentro del texto encerradas entre paréntesis cuadrado —[]l. A continuación algunos ejemplos:

[1]. Baldonado, M., Chang, C.-C.K., Gravano, L., Paepcke, A.: The Stanford Digital Library Metadata Architecture. Int. J. Digit. Libr. 1 (1997) 108–121

[2+. Bruce, K.B., Cardelli, L., Pierce, B.C.: Comparing Object Encodings. In: Abadi, M., Ito, T. (eds.): Theoretical Aspects of Computer Software. Lecture Notes in Computer Science, Vol. 1281. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg New York (1997) 415–438

[3]. van Leeuwen, J. (ed.): Computer Science Today. Recent Trends and Developments. Lecture Notes in Computer Science, Vol. 1000. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg New York (1995)

[4]. Michalewicz, Z.: Genetic Algorithms + Data Structures = Evolution Programs. 3rd edn. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg New York (1996)

#### **Instrucciones:**

Enviar el archivo en extenso a la siguiente dirección electrónica: ebustosf@gmail.com

Los revisores técnicos le harán llegar sus observaciones y modificaciones, las cuales deberá realizar y reenviar el archivo corregido al correo arriba mencionado.

El comité editorial se comunicara mediante correo electrónico indicándole la aceptación o rechazo del artículo.

Se le solicitará autorización para publicación; en caso de aceptar se le indica la cuenta donde debe hacer el depósito por cobro de publicación y el costo, el cual no debe exceder de \$1000.00 pesos mexicanos.

## Reserva de Derechos 04-2008-062613190500-203