

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE CIENCIAS PURAS Y NATURALES
CARRERA DE INFORMÁTICA



TESIS DE GRADO

**“SISTEMA EXPERTO PARA EL DIAGNÓSTICO Y TRATAMIENTO
DE ARTRITIS REUMATOIDE”**

PARA OPTAR AL TÍTULO DE LICENCIATURA EN INFORMÁTICA
MENCIÓN: INGENIERÍA DE SISTEMAS INFORMÁTICOS

POSTULANTE: Carmen Mamani Quispe
TUTOR METODOLÓGICO: M. Sc. Aldo Ramiro Valdez Alvarado
ASESOR: M. Sc. Franz Cuevas Quiroz

LA PAZ – BOLIVIA
2013



**UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE CIENCIAS PURAS Y NATURALES
CARRERA DE INFORMÁTICA**



LA CARRERA DE INFORMÁTICA DE LA FACULTAD DE CIENCIAS PURAS Y NATURALES PERTENECIENTE A LA UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS AUTORIZA EL USO DE LA INFORMACIÓN CONTENIDA EN ESTE DOCUMENTO SI LOS PROPÓSITOS SON ESTRICTAMENTE ACADÉMICOS.

LICENCIA DE USO

El usuario está autorizado a:

- a) visualizar el documento mediante el uso de un ordenador o dispositivo móvil.
- b) copiar, almacenar o imprimir si ha de ser de uso exclusivamente personal y privado.
- c) copiar textualmente parte(s) de su contenido mencionando la fuente y/o haciendo la referencia correspondiente respetando normas de redacción e investigación.

El usuario no puede publicar, distribuir o realizar emisión o exhibición alguna de este material, sin la autorización correspondiente.

TODOS LOS DERECHOS RESERVADOS. EL USO NO AUTORIZADO DE LOS CONTENIDOS PUBLICADOS EN ESTE SITIO DERIVARA EN EL INICIO DE ACCIONES LEGALES CONTEMPLADOS EN LA LEY DE DERECHOS DE AUTOR.

*A Dios por no haberme abandonado en los momentos más
díficiles.*

*A mis padres Nicasio y Vicenta por darme la vida, por
enseñarme en mis primeros pasos y por brindarme todo
su amor.*

*A mis hermanos Martha y German, “mis segundos
padres”, por estar siempre a mi lado en cada etapa de mi
vida.*

AGRADECIMIENTOS

Un agradecimiento muy especial a mi Tutor Metodológico M.Sc. Aldo Ramiro Valdez Alvarado, por brindarme su apoyo y sus conocimientos, su experiencia y sus consejos, su amistad y su confianza hacia mi persona. Su personalidad, su carisma y sus palabras estarán siempre conmigo.

De la misma manera un agradecimiento sincero a mi Asesor M.Sc. Franz Cuevas Quiroz, por guiarme en las diferentes etapas de mi tesis, por su asesoramiento, colaboración y consejos, pero sobre todo por su paciencia y tiempo necesario para la conclusión de ésta investigación.

Agradezco a mi familia, en especial a mis hermanos Martha y Gérman, por toda su colaboración en todas las etapas de mi vida, por sus palabras de aliento y consejos que iluminaron mi camino en los momentos más difíciles.

Y por último a mis amigas y amigos que me acompañaron en todos estos años de estudio, por toda su colaboración y ayuda, por su comprensión, paciencia y por sobre todo por su amistad desinteresada.

RESUMEN

La aplicación de la inteligencia artificial (IA) en diferentes contextos (industrial, biológico, informático) está demostrando ser una herramienta muy útil. Los Sistemas Expertos son un área de la informática que se derivan de la (IA), en el campo de la medicina, se están implementando para ayudar al doctor en el diagnóstico clínico. Por otro lado, la artritis reumatoide (AR) es una enfermedad inflamatoria sistémica caracterizada por sinovitis crónica erosiva de las articulaciones periféricas, afecta aproximadamente al 2% de la población mundial de manera indiscriminada a jóvenes y adultos, genera un impacto importante en la calidad de vida del paciente y origina un costo económico y social importante.

La presente tesis plantea un Sistema Experto a través de la aplicación de la lógica difusa, con la finalidad de desarrollar un Sistema Experto para el Diagnóstico y Tratamiento de Artritis Reumatoide (SEDSTAR). Se pretende implementar un prototipo del sistema experto para el diagnóstico precoz de la AR para pacientes mujeres que tengan entre 30 a 50 años de edad, además de brindar el tratamiento adecuado. El SEDSTAR sirve de apoyo a la toma de decisiones, tanto en médicos especialistas como no especialistas, además de preservar el conocimiento del reumatólogo, cuenta con: Entradas, que son los síntomas; Base de Conocimiento, que contiene el conocimiento formalizado y estructurado del reumatólogo, la representación del conocimiento permite describir los hechos que ocurren y las reglas utilizadas en el proceso de diagnóstico, además las incertidumbres son representadas a través de la lógica difusa, elaborando los conjuntos difusos de las preguntas que tienen varias respuestas posibles; Salidas, son el diagnóstico y tratamiento que resulta y por último la Interfaz de Usuario, mecanismo que permite la comunicación entre el usuario y el sistema experto, su implementación se realiza en el lenguaje de programación SWI-Prolog.

Por último, la validación, que consiste en contrastar los resultados de la aplicación terminada, con resultados realizados que corresponden a la realidad ha sido realizada satisfactoriamente, ya que se demuestra que aplicando la lógica difusa en la interpretación del conocimiento, el SEDSTAR permite dar un diagnóstico confiable del 90%.

Palabras Clave: Inteligencia Artificial, Sistema Experto, Artritis Reumatoide, Lógica Difusa, Diagnóstico.

SUMMARY

The application of artificial intelligence (AI) in different contexts (industrial, biological, and computer) is proving to be a very useful tool. Expert systems are an area of computing that arise from the (IA) in the field of medicine, are being implemented to help the doctor in clinical diagnosis. On the other hand, rheumatoid arthritis (RA) is a systemic inflammatory disease characterized by chronic erosive synovitis of peripheral joints, affecting approximately 2 % of the world population indiscriminately youth and adults, creates a major impact on the quality of patient's life and causes significant economic and social costs.

This thesis presents an Expert System through the application of fuzzy logic, in order to develop an Expert System for the Diagnosis and Treatment of Rheumatoid Arthritis (SED TAR). This wants to implement a prototype expert system for early diagnosis of RA patients are women between 30-50 years of age, and to provide the appropriate treatment. The SED TAR can be used to support decision making both specialists and non- specialists, in addition to preserving the knowledge of the rheumatologist, has: Inputs , which are symptoms, Knowledge Base , which contains the knowledge formalized and structured Rheumatologist , knowledge representation they can describe the events that occur and the rules used in the diagnostic process , plus the uncertainties are represented by fuzzy logic , developing the fuzzy sets of the questions that have multiple answers ; Outputs are the diagnosis and treatment, and finally the User Interface, mechanism that allows communication between the user and the expert system , its implementation is done in the programming language SWI- Prolog .

Finally, validation, which involves comparing the results of the completed application, with matches made to reality has been performed successfully, as it proves that applying the fuzzy logic in the interpretation of knowledge, allows for a SED TAR 90% reliable diagnosis.

Keywords: Artificial Intelligence, Expert System, Rheumatoid Arthritis, Fuzzy Logic, Diagnosis.

ÍNDICE

CAPÍTULO I MARCO INTRODUCTORIO

1.1. INTRODUCCIÓN	1
1.2. ANTECEDENTES.....	2
1.3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	5
1.3.1. PROBLEMA CENTRAL	6
1.3.2. PROBLEMAS SECUNDARIOS.....	7
1.4. DEFINICIÓN DE OBJETIVOS	7
1.4.1. OBJETIVO GENERAL	7
1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	8
1.5. HIPÓTESIS.....	8
1.5.1. OPERACIONES VARIABLES.....	9
1.6. JUSTIFICACIÓN	9
1.6.1. ECONÓMICA	9
1.6.2. SOCIAL	9
1.6.3. CIENTÍFICA	10
1.7. ALCANCES Y LIMITES.....	10
1.7.1. ALCANCES.....	10
1.7.2. LIMITES	11
1.8. APORTES.....	11
1.8.1. PRÁCTICO.....	11
1.8.2. TEÓRICO	12
1.9. METODOLOGÍA	12

CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO

2.1. INTRODUCCIÓN	15
2.2. INTELIGENCIA ARTIFICIAL	15
2.3. SISTEMAS EXPERTOS	17
2.3.1. HISTORIA DEL DESARROLLO DE LOS SISTEMAS EXPERTOS	18

2.3.2. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS SISTEMAS EXPERTOS	20
2.3.3. CARACTERÍSTICAS DE UN SISTEMA EXPERTO	22
2.3.4. DIFERENCIA ENTRE UN SISTEMA EXPERTO Y UN EXPERTO HUMANO ..	23
2.3.5. COMPARACIÓN ENTRE UN SISTEMA EXPERTO Y UN SISTEMA CLÁSICO	23
2.3.6. ARQUITECTURA DE UN SISTEMA EXPERTO	24
2.3.6.1. BASE DE CONOCIMIENTO (BC)	24
2.3.6.2. BASE DE DATOS (BD).....	25
2.3.6.3. MEMORIA DE TRABAJO (MT).....	25
2.3.6.4. MOTOR DE INFERENCIA (MI).....	25
2.3.6.5. TRAZADOR DE CONSULTAS (TC)	26
2.3.6.6. EL TRAZADOR DE EXPLICACIONES (TE).....	26
2.3.6.7. EXPERTO HUMANO.....	26
2.3.6.8. ADQUISICIÓN DEL CONOCIMIENTO	26
2.3.6.9. INGENIERO DEL CONOCIMIENTO.....	27
2.3.6.10. INTERFAZ DE USUARIO	27
2.3.6.11. USUARIO	27
2.3.7. METODOLOGÍA BUCHANAN.....	27
2.3.7.1. IDENTIFICACIÓN.....	28
2.3.7.2. CONCEPTUALIZACIÓN	28
2.3.7.3. FORMALIZACIÓN.....	29
2.3.7.4. IMPLEMENTACIÓN	30
2.3.7.5. TESTEO	30
2.3.7.6. REVISIÓN DEL PROTOTIPO.....	31
2.3.8. LENGUAJES Y SHELLS DE UN SISTEMA EXPERTO	32
2.3.8.1. HERRAMIENTAS, SHELL (CARCAZAS) Y SOPORTES	32
2.3.8.2. LENGUAJE DE PROGRAMACIÓN.....	33
2.3.8.3. SWI-PROLOG	34
2.4. LÓGICA DIFUSA	35
2.4.1. CONJUNTOS DIFUSOS.....	36

2.4.2. FUNCIÓN DE PERTENENCIA	36
2.4.3. VARIABLES LINGÜÍSTICAS	38
2.4.4. INFERENCIA DIFUSA	39
2.4.5. REGLAS DIFUSAS	40
2.4.6. IMPLICACIÓN DIFUSA	41
2.5. ARTRITIS.....	41
2.5.1. ARTRITIS REUMATOIDE	42
2.5.2. SÍNTOMAS	43
2.5.3. DIAGNÓSTICO	44
2.5.4. TRATAMIENTO.....	45

CAPITULO III MARCO APLICATIVO

3.1. INTRODUCCIÓN	46
3.2. METODOLOGÍA PARA EL DESARROLLO DEL SISTEMA EXPERTO	47
3.2.1. IDENTIFICACIÓN	47
3.2.2. ADQUISICIÓN DEL CONOCIMIENTO.....	50
3.2.2.1. CONCEPTUALIZACIÓN	51
3.2.3. REPRESENTACIÓN DEL CONOCIMIENTO.....	54
3.2.3.1. FORMALIZACIÓN.....	54
3.2.3.2. BASE DE CONOCIMIENTO	55
3.2.3.3. VARIABLES DE LA BASE DEL CONOCIMIENTO.....	55
3.2.3.4. DEFINICIÓN DE CONJUNTOS DIFUSO DE LAS VARIABLES LINGÜÍSTICAS.....	59
3.2.3.5. BASE DE HECHOS	64
3.2.3.6. BASE DE REGLAS.....	66
3.2.3.7. MOTOR DE INFERENCIA	70
3.2.4. IMPLEMENTACIÓN.....	70
3.2.4.1. PROTOTIPO.....	71
3.2.5. TESTEO.....	78
3.2.6. REVISIÓN DEL PROTOTIPO	83

CAPÍTULO IV PRUEBA DE HIPÓTESIS	
4.1. PRUEBA DE HIPÓTESIS	84
4.1.1 CONTRASTE DE RACHAS DE WALD-WOLFOWITZ	84
4.1.2 DESARROLLO DE LA PRUEBA DE HIPÓTESIS	86
CAPÍTULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	90
5.1. CONCLUSIONES.....	90
5.2. RECOMENDACIONES	91
BIBLIOGRAFÍA	93
GLOSARIO	95
ANEXOS	
DOCUMENTACIÓN	

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2. 1 Algunas áreas de la Inteligencia Artificial	17
Figura 2. 2 Funcionamiento Básico del funcionamiento de un sistema experto	18
Figura 2. 3 Estructura de un Sistema Experto	27
Figura 2. 4 Etapas para la elaboración de un SE según la metodología Buchanan.	31
Figura 2. 5 Función Triangular.....	37
Figura 2. 6 Función Trapezoidal	37
Figura 2. 7 Función S	38
Figura 2. 8 Elementos de un Conjunto Difuso	39
Figura 3. 1 Participantes que intervienen en el desarrollo del SEDTAR.	48
Figura 3. 2 Estructura del Sistema Experto SEDTAR.....	49
Figura 3. 3 Generalización de los participantes, medios y requerimientos para el SE.....	50
Figura 3. 4 Conjuntos Difusos de la variable Molestias.....	59
Figura 3. 5 Conjuntos Difusos de la variable RIGIDEZ	60
Figura 3. 6 Conjuntos Difusos de la variable ARTART	61
Figura 3. 7 Conjuntos Difusos de la variable ARTMANOS.....	61
Figura 3. 8 Conjuntos Difusos de la variable ARTSIMETRICA.....	62
Figura 3. 9 Conjuntos Difusos de la variable NR.....	63
Figura 3. 10 Conjuntos Difusos de la variable CR.....	63
Figura 3. 11 Conjuntos Difusos de la variable FRP	64
Figura 3.12 Pantalla principal de SWI-PROLOG	71
Figura 3. 13 Pantalla principal del Sistema Experto SEDTAR.....	72
Figura 3. 14 Pantallas de Autor e Instrucciones	72

Figura 3. 15 Pantalla de Información sobre la Artritis Reumatoide.....	73
Figura 3. 16 Pantalla de Introducir datos y pantalla de Error.....	73
Figura 3. 17 Pantalla de selección del motivo de la consulta y de Error.....	74
Figura 3. 18 Pantallas de síntomas presentados, posibles factores de riesgo y exámenes de laboratorio.....	75
Figura 3. 19 Pantalla de los criterios de clasificación	75
Figura 3. 20 Pantalla de Error de conocimiento no determinado.	76
Figura 3. 21 Pantalla de Diagnóstico, sugerencia y tratamiento para un diagnóstico de no presenta Artritis Reumatoide	76
Figura 3. 22 Pantalla de Diagnóstico, sugerencia y tratamiento para un diagnóstico de podría presentar Artritis Reumatoide	77
Figura 3. 23 Pantalla de Diagnóstico y tratamiento para un diagnóstico de si presenta Artritis Reumatoide	77
Figura 3. 24 Pantalla de tratamiento no farmacológico para un diagnóstico de si presenta Artritis Reumatoide	78
Figura 3. 25 Pantallas de inicio de consulta y pantalla de Introducir datos Personales	79
Figura 3. 26 Pantallas motivo de consulta y selección de Síntomas Presentados	80
Figura 3. 27 Pantallas de selección de criterios de clasificación.....	80
Figura 3. 28 Diagnostico Final del sistema experto SEDTAR.....	81
Figura 3. 29 Pantallas de Tratamiento no farmacológico para la Artritis Reumatoide	81
Figura 3. 30 Pantallas de concejos para Tratamiento no farmacológico.....	82
Figura 3. 31 Pantallas de Terapias Complementarias.....	82

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3. 1 Variables para determinar posibles causas de la Artritis Reumatoide	56
Tabla 3. 2 Variables para representar los exámenes de laboratorio para determinar posible diagnóstico de Artritis Reumatoide	57
Tabla 3. 3 Variables para representar los criterios de clasificación para determinar el diagnóstico precoz de la Artritis Reumatoide.....	58
Tabla 3. 4 Variable para representar el resultado del diagnóstico de Artritis Reumatoide ..	58
Tabla 3. 5 Función de pertenencia para la variable MOLESTIAS.....	60
Tabla 3. 6 Función de pertenencia para la variable RIGIDEZ	60
Tabla 3. 7 Función de pertenencia para la variable ARTART	61
Tabla 3. 8 Función de pertenencia para la variable ARTMANOS.....	62
Tabla 3. 9 Función de pertenencia para la variable ARTSIMETRICA.....	62
Tabla 3. 10 Función de pertenencia para la variable NR.....	63
Tabla 3. 11 Función de pertenencia para la variable CR.....	63
Tabla 3. 12 Función de pertenencia para la variable FRP	64
Tabla 4. 1 Comparación de diagnóstico del médico y el sistema experto.....	87

CAPÍTULO I MARCO INTRODUCTORIO

1.1. INTRODUCCIÓN

Desde la aparición de las computadoras hasta nuestros días, la gente ha invertido grandes esfuerzos por tratar de dar una cierta capacidad de decisión a estas máquinas, incluso un cierto grado de inteligencia. Un Sistema Experto es un sistema basado en el conocimiento que, mediante el buen diseño de su base de información y un adecuado motor de inferencias para manipular información proporciona una manera de determinar resoluciones finales dados ciertos criterios (Drouaillet R. P., 2008). Un sistema experto de cómputo es el encargado de tomar decisiones altamente especializadas con base en los conocimientos de expertos sobre un área en particular, por lo que los datos son almacenados de forma estructurada para su recuperación. Además de la capacidad de ofrecer soluciones sobre algún problema, incluye la explicación del porque se llegó a determinadas medidas. Los sistemas expertos desde hace mucho tiempo han sido aplicados y dirigidos al campo de la medicina. La medicina es un área en donde se requiere de mucho entrenamiento para ser un especialista, además, cuando existe una amplia diversidad de enfermedades y trastornos, los síntomas pueden ser confusos cuando se busca determinar rápidamente un diagnóstico oportuno, que puede significar la sobrevivencia o la muerte del paciente (Luchau, 2013).

Por otro lado, la artritis reumatoide (AR)¹ es una enfermedad inflamatoria sistémica caracterizada por sinovitis crónica erosiva de las articulaciones periféricas y que afecta aproximadamente al 2% de la población mundial. La AR es una enfermedad crónica, autoinmune, que afecta de manera indiscriminada a jóvenes y adultos, genera un impacto importante en la calidad de vida del paciente y origina un costo económico y social importante por tanto en el presente trabajo se propone desarrollar de un sistema experto que beneficie al área de la Medicina, es por tal motivo que la propuesta es el desarrollo e

¹(AR) Artritis Reumatoide, un tipo de artritis caracterizado por la inflamación de las articulaciones.

implementación del prototipo de un sistema experto para el diagnóstico y tratamiento de la Artritis Reumatoide.

1.2. ANTECEDENTES

La Inteligencia Artificial (IA) es una disciplina moderna que se inicia formalmente en 1956, en la actualidad es aplicado en campos como economía, medicina, ingeniería y la milicia y han sido usado en áreas de propósito general, como es el caso de la percepción o el razonamiento lógico, como también en áreas específicas como el ajedrez, la demostración de teoremas matemáticos, y el diagnóstico de enfermedades.

Los Sistemas Expertos (SE) proceden inicialmente de la inteligencia artificial que a su vez es una rama de la informática que desarrolla procesos que imitan a la inteligencia de los seres vivos, con esto los SE tratan de hacer aplicaciones principalmente con máquinas para la automatización de tareas que requieran un comportamiento inteligente.

La comprensión de la actividad de los médicos en su ámbito profesional se convierte en elemento de suma importancia para la inteligencia artificial médica (Ruiz, 2004). Hace más de 35 años, informáticos y médicos reconocieron que las computadoras suponen una gran ayuda en las tareas de decisión clínica. Con la aparición de la Inteligencia Artificial ha sido posible plantear vías alternativas a los sistemas de computación clásicos, facilitando al médico el tratamiento de la información de alto nivel que utiliza durante el desarrollo de su labor. Las tecnologías de ayuda a la decisión están, cada vez más, disponibles para los profesionales de medicina general. En los últimos años, se han desarrollado para el mercado médico una gran variedad de programas diseñados para ayudar en la dosificación de la medicación, mantenimiento de la salud, diagnóstico y otras decisiones clínicas relevantes.

Por otra parte, la facilidad para acceder a un ordenador ha aumentado considerablemente, lo que resulta parcialmente responsable del crecimiento de dichos sistemas. De tal forma que

el interés en automatizar el proceso de toma de decisiones médicas ha crecido a partir del conocimiento del éxito de la computación médica.

En el ámbito de los sistemas expertos para las ciencias médicas, se puede hablar de paquetes de diagnóstico médico. Se han desarrollado varios sistemas expertos para diagnosticar enfermedades y recomendar tratamientos, entre estas se puede mencionar a MYCIN², sistema experto relacionado con la “inteligencia artificial en la medicina”, que está orientado al diagnóstico y tratamiento de enfermedades infecciosas y cuya principal característica es la forma de representar y procesar la incertidumbre mediante los ahora conocidos “factores de confianza”, que son entendidos como medidas subjetivas del experto para calificar y procesar, de manera bastante elemental, la incertidumbre; HELP³, sistema experto que se emplea para diagnosticar los problemas de pacientes enfermos del corazón; y por último a PUFF⁴ otro sistema experto de tratamiento, que se encarga de medir funciones pulmonares (Drouaillet R. P., 2008).

El término reumatismo es genérico y se refiere a las afectaciones del hueso, el músculo, las articulaciones, inclusive los tejidos. Las enfermedades reumáticas son aquellas enfermedades médicas que afectan las articulaciones y los tejidos que la rodean. El concepto de artritis se refiere a la afección con dolor, inflamación y limitación del movimiento de las articulaciones. Hay más de 100 enfermedades reumáticas que pueden afectar a niños, adultos, ancianos, hombres y mujeres y son una causa más frecuente de limitación en la función que la enfermedad cardíaca, el cáncer o la diabetes mellitus.

El reumatismo es una enfermedad degenerativa que puede afectar a cualquier persona a partir de los 25 años, aunque su mayor incidencia se presenta en las mujeres según estudios internacionales, siendo las más frecuentes la artrosis y la artritis reumatoide y el lupus que es poco común pero sí bastante peligroso.

² Uno de los primeros sistemas expertos, reportado en el libro del año 1988 de Szolovitz

³ Reportado el año 1983 por sus creadores Pryor, Gardner, Clayton y Warner.

⁴ Escrito en el año 1983 por los investigadores Aikins, Kuns y Shortliffe.

La artritis reumatoide, a la que muchos le tienen miedo, por ser una enfermedad muy agresiva y lamentablemente el índice de frecuencia es elevada. En Bolivia un 05% de la población total puede estar afectada, número relativamente alto y preocupante. Esta enfermedad conocida comúnmente como reumatismo es severa, porque destroza articulaciones puede llegar incluso a provocar invalidez con la deformidad total producto de la destrucción de las articulaciones, no sólo es un problema estético puede inutilizar la funcionalidad de varias regiones del cuerpo. Los medicamentos deben ser agresivos y suministrados con bastante supervisión médica. La artritis reumatoide afecta predominantemente a mujeres entre los 35 y 55 años. En las personas jóvenes la enfermedad es más autoinmune, el reumatismo se torna más destructivo y afecta en mayor proporción a la población femenina al extremo de provocar el lupus que ataca a las mujeres comprendidas entre los 25 a 35 años generalmente, puede afectar articulaciones, piel, riñones, corazón, sistema nervioso. Puede dañar absolutamente todo y hay diferentes grados de compromiso y por ejemplo en el caso de los riñones, si el compromiso es severo puede provocar insuficiencia renal, derivando en la necesidad del tratamiento de hemodiálisis, la insuficiencia renal crónica y con serias complicaciones.

Revisando la bibliografía existente no se ha podido encontrar algún sistema experto para el diagnóstico de la artritis, sin embargo se encontró Tesis de Grado en la Carrera de Informática de la Universidad Mayor de San Andrés relacionadas al área de la Medicina, entre estas se puede mencionar:

- Tesis de Grado “Sistema Experto para el Diagnóstico y Tratamiento del Quiste Ovárico”, realizado en el año 2010 por Ramiro Conde Luna, en este trabajo se desarrolla un sistema experto para diagnosticar el quiste ovárico que permita determinar el grado en el que se encuentra, desarrolla un sistema experto mediante el modelo difuso tipo Mandami, implementa los módulos de Fuzzificación y Defuzzificación, construye la base de conocimiento mediante un árbol de decisión para el diagnóstico aplicando lógica difusa (Conde, 2010).

- Tesis de Grado “Sistema Basado en el Conocimiento para el Diagnóstico de Osteoporosis en mujeres de 35 a 45 años”, realizado en el año 2012 por Rosmery Rosalia Mamani Castro, en este trabajo se desarrolla un sistema experto basado en el conocimiento sobre la osteoporosis, basado en las reglas de producción que permita el diagnóstico de osteoporosis confiable para así prevenir la disminución de la masa ósea en mujeres de 35 a 45 años. Obtiene el conocimiento del experto, desarrolla la lógica de predicados y la lógica de proporciones, diseña la base de hechos, diseña la base de conocimiento en base a hechos físicos y a factores de riesgo. (Mamani, 2012).
- Tesis de Grado “Sistema Experto para el Diagnóstico de Cáncer de Colon”, realizado en el año 2006 por Edwin Luis Quispe Aruquipa, en este trabajo se desarrolla un prototipo de sistema experto para realizar el diagnóstico y tratamiento de cáncer de colon que apoye a la toma de decisiones, realizando una base de conocimiento aplicando lógica difusa para reflejar la experiencia del médico especialista (Quispe, 2006).

1.3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

A menudo, la información médica básica es incompleta, subjetiva, o poco específica, y existen demasiadas hipótesis posibles para considerar cada una individualmente. Las decisiones médicas se toman bajo incertidumbre y presentan un juicio considerado como óptimo, que generalmente constituye la preferencia por una solución o un tratamiento, también existe un problema por la excesiva demanda sobre el personal de asistencia clínica. Los adelantos tecnológicos han tenido mucha influencia en la relación médico-paciente. Por desgracia, esta influencia no ha sido siempre beneficiosa para este tipo de relación, sino más bien, la ha deteriorado. La automatización de los procesos de diagnóstico y tratamiento ha deshumanizado la relación médico-paciente, al límite de casi hacerla desaparecer.

En Bolivia los casos de artritis está en aumento, este problema de salud se presentaba con mayor frecuencia en las regiones altiplánicas debido al frío; sin embargo, en los últimos

años se ha observado que en el oriente hay una predisposición de las personas a esta dolencia debido a dos factores: la obesidad y la humedad. En el año 2011, Santa Cruz se constituyó en la segunda región con mayor cantidad de casos (13.819), después de La Paz (27.321), Chuquisaca y Cochabamba ocupan el tercer y cuarto lugares con más casos de artritis. En Bolivia en el año 2011 se reportaron 88.172 casos de este mal que afecta a la tercera edad, más de la mitad de esos casos, 55.916, corresponden al sexo femenino además la mujer cuya madre o abuela sufrió de artritis tiene un 70% de probabilidad de desarrollar la enfermedad (Júarez, 2012).

En Bolivia no existen estudios, ni datos epidemiológicos sobre el padecimiento. Existe carencia de bases de datos. Se ha visto que en algunas zonas mineras, probablemente por la manipulación de químicos algunas personas desarrollan la artritis reumatoide más que en otras regiones, pero como no existen estudios no se puede hablar del componente territorial como causante de la enfermedad. Todo ser humano es propenso a desarrollar un tipo de reumatismo, por ser una enfermedad degenerativa. Al hablar de degeneración es como afirmar que el cartílago irá envejeciendo, proceso que no se puede frenar con nada, los medicamentos sólo son para evitar el dolor y las molestias. Contrariamente a lo que sucede con otras profesiones o especialidades médicas, en el País, según estadísticas de la Sociedad Bolivia de Reumatología, no existen más de 30 reumatólogos para atender a miles de pacientes. En La Paz existen 11 reumatólogos, en Cochabamba 6 ó 7, en Santa Cruz no son más de 10 y en Sucre 1, mientras que en los demás departamentos no existen profesionales que puedan tratar la dolencia.

1.3.1. PROBLEMA CENTRAL

Como se sabe las decisiones médicas se toman bajo incertidumbre por lo que existen muy pocos sistemas confiables que ayude al profesional médico a la toma de decisiones para diagnosticar artritis reumatoide en el País, por tanto a partir del análisis de la problemática, el problema central planteado es el siguiente:

¿De qué manera se puede ayudar al profesional médico a diagnosticar la artritis reumatoide?

1.3.2. PROBLEMAS SECUNDARIOS

Los problemas secundarios identificados son los siguientes:

- Existe un número reducido de médicos especialistas reumatólogos para atender a miles de pacientes que padecen de artritis, lo cual ocasiona una saturación en las consultas médicas.
- El hecho de que exista un reducido número de especialistas reumatólogos ocasiona un incremento en los gastos médicos a personas con bajos recursos que viven en lugares muy alejados de las ciudades.
- La inexistencia de estudios y datos epidemiológicos sobre el padecimiento de la artritis, ocasiona que un profesional médico descarte algunos factores que puedan ocasionar la artritis, factores tales como la influencia del territorio, clima y otros.
- Existe una educación reducida en la ciudadanía en cuanto a las consecuencias y daños severos que puede causar la artritis en las articulaciones si no se trata a tiempo, ocasionando el incremento de personas con artritis en un nivel crítico, peligroso y muy doloroso.
- El ser humano puede cometer errores o no considerar algún cuestionamiento o síntoma, lo cual puede afectar al tratamiento de la enfermedad.

1.4. DEFINICIÓN DE OBJETIVOS

1.4.1. OBJETIVO GENERAL

Desarrollar un Sistema Experto para el Diagnóstico y Tratamiento de Artritis Reumatoide, que sea útil para el médico general al momento de emitir el diagnóstico como también al momento de dar el tratamiento adecuado para su control, para así prevenir futuras complicaciones agresivas de la enfermedad.

1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ✓ Diseñar y programar el prototipo del Sistema Experto para el diagnóstico y tratamiento de artritis reumatoide aplicando la metodología Buchanan. El sistema experto se realiza a través del diseño y construcción de una Base de Conocimiento en base a la experiencia del experto humano y la lógica difusa para interpretarlo, constituido por una Base de Hechos y Base de Reglas que contendrá las características de los problemas de diagnósticos; y de un Motor de Inferencia, el cual debe relacionar de forma lógica los antecedentes y consecuentes para encontrar soluciones que satisfagan las condiciones establecidas.
- ✓ Desarrollar el prototipo del sistema experto para poder incrementar la atención en las consultas médicas y permitir ahorrar recursos a los pacientes, al eliminar el trasladarse a otras ciudades para realizarse el diagnóstico.
- ✓ Realizar un estudio completo de los datos epidemiológicos, cuestiones y síntomas que pueden originar y/o causar la artritis reumatoide en los pacientes, para así brindarles un diagnóstico confiable y un adecuado tratamiento.
- ✓ Realizar un estudio completo en cuanto a las consecuencias y daños que puede ocasionar la artritis reumatoide si no se trata y controla a tiempo, para así disminuir el porcentaje de personas con artritis reumatoide en un nivel crítico.

1.5. HIPÓTESIS

La hipótesis planteada a demostrar es:

Hi: La Lógica difusa permite al Sistema Experto diagnosticar la enfermedad de artritis reumatoide con una confiabilidad del 90%.

1.5.1. OPERACIONES VARIABLES

Variable Dependiente: El diagnóstico de la enfermedad de artritis con una confiabilidad del 89%

Variable Independiente: El sistema experto para el diagnóstico de la artritis reumatoide.

Variable Interviniente: La lógica difusa

1.6. JUSTIFICACIÓN

1.6.1. ECONÓMICA

Con la implementación de un Sistema Experto para el diagnóstico de Artritis Reumatoide, el médico especialista podrá obtener el apoyo en su diagnóstico de manera más confiable, precisa y rápida, reduciendo el tiempo de las consultas médicas por cada paciente. La reducción de tiempo implica obtener el diagnóstico de una manera más eficiente y eficaz optimizando e incrementando así las ganancias en términos monetarios del profesional médico.

Por otra parte, el uso de un sistema experto en lugares donde no existan especialistas reumatólogos será de mayor beneficio para los pacientes ya que se ahorrara en los gastos que puedan generarse en cuanto a los traslados a clínicas para realizarse el diagnóstico y recibir un tratamiento adecuado.

1.6.2. SOCIAL

El sistema experto pretende ofrecer a los pacientes la oportunidad no de prevenir la artritis reumatoide ya que no existe una forma de prevención conocida, pero si la oportunidad de prevenir daños mayores en las articulaciones tales como malestares y de formaciones en los dedos. También el Sistemas Expertos permitirá al médico tomar mejores decisiones en cuanto al diagnóstico y tratamiento de la artritis reumatoide, en beneficio de los pacientes.

1.6.3. CIENTÍFICA

Está claro que el desarrollo de estos sistemas expertos ha ido incrementándose a través del tiempo, y por lo tanto ha podido ayudar a muchísima gente, específicamente en el ámbito de la medicina, por lo que se considera de gran importancia abordar este proyecto de diagnóstico y tratamiento de artritis reumatoide. Es por tal razón que el presente trabajo pretende contribuir en las investigaciones de Sistemas expertos aplicados al campo de la Medicina.

1.7. ALCANCES Y LIMITES

El experto humano tiene conocimiento de sus posibilidades y sabe cuándo se le presenta un problema que no sea capaz de resolver, por ello es importante que un sistema experto también controle sus limitaciones y este consiente de sus alcances.

1.7.1. ALCANCES

Los alcances que presenta el presente trabajo son los siguientes:

- ✓ El presente trabajo pretende llevar a cabo la investigación en los meses de julio a diciembre.
- ✓ Se pretende implementar un prototipo del sistema experto para el diagnóstico y tratamiento de la artritis reumatoide.
- ✓ El sistema experto pretende realizar diagnósticos solo en pacientes mujeres que estén entre 30 a 50 años de edad, ya que las mujeres son más propensas a contraer la enfermedad.
- ✓ El sistema experto recomienda el tratamiento adecuado que se debe seguir la paciente que padece artritis reumatoide.
- ✓ El sistema Experto preserva el conocimiento de un experto reumatólogo.
- ✓ El presente trabajo realiza el análisis para determinar el diagnostico precoz de la artritis reumatoide.

- ✓ El prototipo diagnostica a la paciente si presenta, o si podría presentar, o si no presenta artritis reumatoide.
- ✓ El prototipo del Sistema Experto sirve de apoyo a la toma de decisiones, tanto en médicos especialistas como no especialistas en el área.

1.7.2. LIMITES

- ✓ En cuanto al área elegida, existe distintos tipos de artritis tales como la artrosis, gota, lupus eritematoso sistémico, artritis reumatoide, artritis infantil o artritis idiopática y otras, por lo que se considera un área muy extensa, por tal motivo el estudio se realiza y se centra en una enfermedad específica de la artritis que es la Artritis Reumatoide, por tanto se realiza el diagnóstico solamente a personas que presenten los síntomas de este tipo de artritis.
- ✓ La lógica difusa ayuda a generar valores de algunas variables lingüísticas para realizar el diagnóstico y no así la construcción del prototipo de un sistema experto de control difuso.
- ✓ El sistema experto no pretende reemplazar al médico especialista, pretende emitir y confirmar su diagnóstico en el menor tiempo posible y ayudar en la toma de decisiones en cuanto al tratamiento que se deberá seguir el paciente.
- ✓ El presente trabajo no realiza un análisis profundo en cuanto al tratamiento que se debe brindar al paciente.
- ✓ El prototipo no realiza la clasificación o el grado de gravedad que presenta una paciente si es que es diagnosticada con artritis reumatoide.

1.8. APORTES

1.8.1. PRÁCTICO

El presente trabajo de tesis de grado tiene como principal aporte práctico, desarrollar e implementar un prototipo de sistema experto que ayude a determinar el diagnóstico y

tratamiento en personas que padecen artritis reumatoide, la cual pueda de alguna manera servir de apoyo tanto al profesional médico especializado o no especializado, como también al paciente, demostrando una vez más que los sistemas expertos son aplicados en la medicina de una manera funcional y confiable al momento de emitir diagnósticos.

Por otro lado, el presente trabajo podrá incentivar al desarrollo e implementación de nuevos sistemas expertos aplicados en el área de la medicina, sistemas expertos que sean construidos en beneficio de la humanidad.

1.8.2. TEÓRICO

El presente trabajo de tesis tiene como principal aporte teórico, contribuir a la investigación e implementación de nuevos sistemas expertos aplicados en el área de la medicina pero construidos siguiendo las fases de la metodología de Buchanan, con la adquisición del conocimiento interpretado con la ayuda de la lógica difusa o también llamado lógica borrosa, el estudio de un control difuso y el desarrollando un motor de inferencia en base a reglas con la herramienta de programación SWI-Prolog.

1.9. METODOLOGÍA

Los métodos y técnicas y herramientas a utilizadas para alcanzar las metas y objetivos propuestos en el desarrollo del presente trabajo son las siguientes:

- ✚ Para la elaboración del presente trabajo de investigación se empleara el Método Científico, metodología que es muy importante para poder resolver los problemas en el área de la salud aplicando diferentes principios y conceptos que clasifican la teoría práctica, En el método científico se tiene los siguientes pasos establecidos por (Hernández, Fernández, & Baptista, 2010):
 - **Concebir la idea a investigar.** Búsqueda de posibles temas de investigación.

- **Planteamiento del problema a investigar.** Se encuentra la formulación del problema, se establece los objetivos, el desarrollo de las preguntas, la justificación y la viabilidad de la investigación.
 - **Elaboración del Marco Teórico.** Fundamentación teórica de la cual se encarga la investigación tomando en cuenta la revisión de la literatura y la construcción del marco teórico.
 - **Definir el tipo de investigación.** Se tiene la investigación **descriptiva** que busca especificar propiedades, características y rasgos importantes de cualquier fenómeno que se analice y la investigación **explicativa** que pretende establecer las causas de los eventos, sucesos o fenómenos que se estudian.
 - **Formulación de la Hipótesis,** suposición de la que se intenta extraer una consecuencia y demostrarla. Se debe detectar las variables, definir las conceptualmente y operacionalmente.
 - **Seleccionar el diseño apropiado de la investigación.** Plan o estrategia que se desarrolla para obtener la información que se requiere en una investigación.
 - **Selección de la muestra.** Se determina la población, como la totalidad de elementos o individuos que tiene ciertas características similares y sobre las cuales se harán inferencias.
 - **Recolección de datos.** Reunir datos válidos e información confiable de fuentes primarias y secundarias, usando técnicas como entrevistas o análisis de documentos de internet, y procesar la información.
 - **Analizar los datos.** Se implementa técnicas de procesamiento de datos, tomando en cuenta la selección de pruebas estadísticas, la elaboración del problema de análisis y la realización del análisis.
 - **Presentar los resultados.** Se interpreta los hallazgos y relaciones con el problema, los objetivos, la hipótesis y las teorías planteadas en el marco teórico.
- ✚ Para el diseño del sistema experto se utiliza la metodología de Buchanan, metodología que se basa en la adquisición de conocimiento de distintas fuentes tales como libros, revista, artículos y expertos profesionales. Esta metodología sigue una

serie de fases para diseñar un sistema experto, según (Peña, Pérez, & Rondón, 2009) estas fases son:

- Identificación.
 - Conceptualización.
 - Formalización.
 - Implementación.
 - Testeo o prueba.
 - Revisión del Prototipo.
- ✚ La técnica utilizada en el presente trabajo es la aplicación de la lógica difusa en la adquisición e interpretación del conocimiento en el diseño del sistema experto para el diagnóstico y tratamiento de la artritis reumatoide.
- ✚ Por último la herramienta en la cual es programada e implementada el prototipo del sistema experto es en el lenguaje de programación Swi-Prolog para la representación del conocimiento y para realizar la interfaz gráfica se usa la herramienta XPCE que incorpora SWI-Prolog que cuenta con librerías complementarias que ayudan al sistema a interactuar con el usuario.

CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO

2.1. INTRODUCCIÓN

En este capítulo se menciona la definición, estructura y funcionamiento de los sistemas expertos, así también una breve descripción de los primeros sistemas expertos desarrollados, las ventajas, desventajas y las limitaciones que presenta un SE. Se menciona las distintas etapas o fases que presenta la metodología Buchanan, tales como: Identificación, Conceptualización, Formalización, Implementación, Testeo y Revisión del prototipo.

Se hace una descripción general que es la lógica difusa o borrosa, los conjuntos difusos, la función de pertenencia, las variables lingüísticas, la inferencia difusa, las reglas difusas y la implicación difusa. Y por último se realiza una explicación de la artritis reumatoide, que factores son las que podrían ser la causa de su origen, los síntomas que presenta, el cómo hacer un diagnóstico y las formas de tratamiento que se debería seguir.

2.2. INTELIGENCIA ARTIFICIAL

La Inteligencia Artificial representa un gran volumen de conocimiento y técnicas que han sido desarrolladas por muchos investigadores desde finales de la década de 1950. Durante este periodo han aparecido numerosas definiciones de IA, pero ninguna ha sido de aceptación general. Algunas de las definiciones de Inteligencia artificial son:

- ✚ La IA es la solución de problemas complejos con el apoyo del computador mediante la aplicación de procesos que son análogos al proceso del razonamiento humano. (Rolston, 1995)
- ✚ LA inteligencia artificial tiene como propósito reproducir las acciones y el razonamiento de los seres vivos inteligentes en dispositivos artificiales, cuyo objetivo es conseguir una teoría comprensiva de la inteligencia tal y como aparece en animales y máquinas.

- ✚ LA IA busca identificar procedimientos, métodos y técnicas que se asocian a la capacidad de pensar y razonar hasta de manera inteligente. En este proceso pretende automatizar las tareas del pensamiento y razonamiento humano, proveyendo un modelo cognitivo de sus funcionamientos. (García Martínez & Britos, 2004)

Debido a que la inteligencia artificial tuvo muchos padres no hay un consenso para definir ese concepto, por tanto se puede decir que la inteligencia artificial se encarga de modelar la inteligencia humana en sistemas computacionales exhibidos en artefactos creados por humanos.

Puede decirse que la Inteligencia Artificial es una de las áreas más fascinantes y con más retos de las ciencias de la computación, en su área de ciencias cognoscitivas. Nació como un estudio filosófico y razonístico de la inteligencia humana, mezclada con la inquietud del hombre de imitar la naturaleza circundante, hasta inclusive querer imitarse a sí mismo. Sencillamente, la Inteligencia Artificial busca el imitar la inteligencia humana. Obviamente no lo ha logrado todavía o al menos no completamente.

El término inteligencia cubre muchas habilidades conocidas, incluyendo la capacidad de solucionar problemas, de aprender y de entender lenguajes, la I.A. dirige todas estas habilidades. La mayoría de los esfuerzos en I.A. se han hecho en el área de solucionar los problemas, los conceptos y los métodos para construir los programas que razonan acerca de los problemas y que luego calculan una solución. Los programas de I.A. que logran la capacidad experta de solucionar problemas aplicando las tareas específicas del conocimiento se llaman Sistemas Basados en Conocimiento o Sistemas Expertos.

El campo de la inteligencia artificial engloba y tiene muchas áreas de interés como se muestra en la figura 2.1, tales como los sistemas expertos ya que es una aproximación muy exitosa a la solución de los problemas clásicos de la IA en la programación de inteligencia.

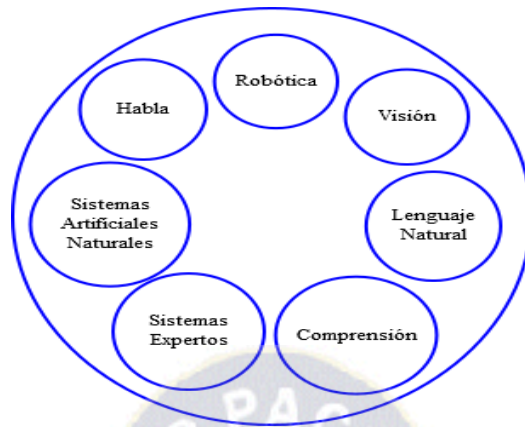


Figura 2. 1 Algunas áreas de la Inteligencia Artificial

Fuente: [Giarratano, 2001]

2.3. SISTEMAS EXPERTOS

Los sistemas expertos son sistemas informáticos que forman parte de la Inteligencia Artificial, éstos simulan el proceso de aprendizaje, de memorización, de razonamiento, de comunicación y de acción en consecuencia de un experto humano en cualquier rama de la ciencia. Estas características le permiten almacenar datos y conocimiento, sacar conclusiones lógicas, tomar decisiones, aprender de la experiencia y los datos existentes, comunicarse con expertos humanos, explicar el porqué de las decisiones tomadas y realizar acciones como consecuencia de todo lo anterior.

Según el profesor Edwar Feigenbaum de la universidad de Stanford pionero en la tecnología de los sistemas expertos, los ha definido como “Un programa de computación inteligente que usa el conocimiento y los procedimientos de inferencia para resolver problemas que son lo suficientemente difíciles como para requerir significativa experiencia humana para la solución”, es decir un sistema experto es un sistema de cómputo que emula la habilidad de tomar decisiones de un especialista humano. El termino emula significa que el sistema experto tiene el objetivo de actuar en todos los aspectos como un especialista humano. (Giarratano, 2001)

Los términos sistema basado en el conocimiento y sistema experto basado en el conocimiento, son usados como sinónimos para el término sistema experto.

Un sistema experto, técnicamente consta de una base de conocimientos que incluye la experiencia acumulada de expertos humanos y un conjunto de reglas para aplicar ésta base de conocimientos en una situación particular que se le indica al programa.

Como se muestra en la Figura 2.2 la estructura y funcionamiento básico de un sistema experto consta de: una base del conocimiento que incluye hechos y reglas codificadas apropiadamente (éste conocimiento se puede obtenerse por experiencia o consulta de los conocimientos que suelen estar disponibles en libros, revistas y con personas capacitadas), y una máquina de inferencias, cuyo cometido es el de activar las reglas para que se pueda obtener la solución del problema.

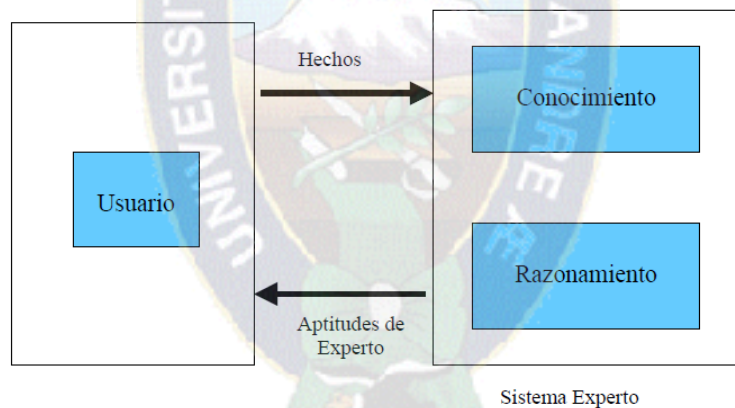


Figura 2. 2 Funcionamiento Básico del funcionamiento de un sistema experto

Fuente: [Giarratano, 2001]

2.3.1. HISTORIA DEL DESARROLLO DE LOS SISTEMAS EXPERTOS

La tecnología representada por los sistemas expertos actuales, surge de las técnicas de inteligencia artificial que han sido objeto de amplias e intensivas investigaciones desde finales de la década de 1950. Las investigaciones referidas comenzaron en el área de

lenguajes para apoyar el razonamiento simbólico. El lenguaje de programación IPL, el primer lenguaje simbólico, para procesamiento de listas, se emplearon ampliamente en las primeras implementaciones de IA, LIS, actualmente uno de los más populares para IA en USA, fue desarrollado por Jhon McCarthy en 1958. (Rolston, 1995)

La investigación específica en SE realmente comenzó a mediados de los años sesenta. Varios sistemas se desarrollaron entre 1965 y 1970; la mayoría de ellos fueron de alcance muy limitado y se orientaron hacia juegos o temas altamente académicos e idealizados. A partir de 1980 se ponen de moda los sistemas expertos, numerosas empresas de alta tecnología investigan en el área apoyados de la inteligencia artificial, desarrollando sistemas expertos para su comercialización un ejemplo de SE moderno es el llamado CASHVALUE su principal función es evaluar proyectos de inversión además existe otro sistema llamado VATIA creado para asesorar acerca del impuesto sobre el valor añadido IVA. (Drouaillet P. R., 2008)

A partir de los 90 y con el desarrollo de la informática, se produce un amplio desarrollo en el campo de la IA y por ende de los Sistemas Expertos, pudiéndose afirmar que éstos se han convertido en una herramienta habitual de determinadas empresas. Actualmente, en la era de la tecnología podemos citar algunos acontecimientos importantes como que en 1996 Best Business Service pone al alcance de las empresas, profesionales y centros de formación el primer Sistema Experto de previsiones empresariales con metodología Box-Jenkins. En 1999 se construye el primer Sistema Experto en el análisis de la cartera de productos, valorado por Actualidad Económica como el mejor software para el marketing de productos. Y más recientemente en el 2000 se desarrolla y lanza al mercado español el primer Sistema Experto integral en marketing.

A través de la historia de los sistemas expertos se ve claramente que el éxito de un sistema experto depende casi exclusivamente de la calidad de su base de conocimiento. En la Tabla 2.1 se presentan de manera resumida los primeros Sistemas Expertos y sus aplicaciones.

Sistema	Fecha	Autor	Aplicación
DENDRAL	1965	Stanford	Deduce información sobre estructuras químicas.
MACSYMA	1965	MIT	Análisis matemático complejo
HEARSAY	1965	Carnegie-Mellon	Interpreta en lenguaje natural un subconjunto del idioma.
MYCIN	1972	Stanford	Diagnóstico de enfermedades de la sangre.
TIERESIAS	1972	Stanford	Herramienta para la transformación de conocimiento
PROSPECTOR	1972	Stanford	Exploración mineral y herramientas de identificación.
AGE	1973	Stanford	Herramienta para generar Sistemas Expertos.
OPSS	1974	Carnegie-Mellon	Herramienta para desarrollo de sistema Experto.
CADUCEUS	1975	University of Pittsburg	Herramienta de diagnóstico para medicina interna.
ROSIE	1978	Rand	Herramienta de desarrollo de Sistemas Expertos.
R1	1978	Carnegie-Mellon	Configurador de equipos de computación para DEC.

Tabla2. 1 Primeros Sistemas Expertos

Fuente: [Rolston, 1995]

2.3.2. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS SISTEMAS EXPERTOS

Los sistemas Expertos según (Giarratano, 2001) presentan varias ventajas, éstas son:

- ✓ *Mayor disponibilidad.* La experiencia está disponible para cualquier hardware de cómputo adecuado, es decir un SE es la producción masiva de experiencia.
- ✓ *Costo Reducido.* El costo de poner la experiencia a disposición del usuario se reduce enormemente.
- ✓ *Peligro Reducido.* Los SE pueden usarse en ambientes que podrían ser peligrosos para un ser humano.
- ✓ *Permanencia.* La experiencia es permanente a diferencia de los expertos humanos ya que pueden retirarse, renunciar o morir.
- ✓ *Experiencia múltiple.* El conocimiento de varios especialistas puede estar disponible para trabajar simultáneamente y continuamente en un problema. Un SE puede aprender de otros sistemas expertos e incrementar sus conocimientos aún más que los especialista juntos.

- ✓ *Mayor confiabilidad.* Al proporcionar una segunda opinión, un SE incrementa la confianza en la toma de decisiones de un especialista.
- ✓ *Explicación.* El SE puede explicar con claridad y detalladamente las decisiones y conclusiones que está tomando, lo que aumenta la confianza en que se tomó la decisión correcta.
- ✓ *Respuesta Rápida.* Muchas veces un SE puede proporcionar respuestas más rápidas que las de un especialista.
- ✓ *Respuestas Sólidas, completas y sin emociones, en todo momento,* esto puede ser muy importante en tiempo real y en situaciones de emergencia.
- ✓ *Tutoría Inteligente.* El SE puede actuar como un tutor inteligente dejando que cualquier persona ejecute programas de ejemplo y explicando sus razonamientos.
- ✓ *Base de Datos Inteligente.* Los SE pueden usarse para tener acceso a una base de datos en forma inteligente.

Por otro lado, los Sistemas Expertos presentan grandes carencias frente a los seres humanos según (Dones, 2005), estas desventajas son:

- Sentido común: Para un ordenador no hay nada obvio.
- Lenguaje natural: Todavía nos encontramos muy lejos de tener un sistema que pueda formular preguntas flexibles y mantener una conversación informal con un usuario.
- Experiencia sensorial: Los SE, en la actualidad, se limitan a recibir información.
- Perspectiva global: Un experto humano es capaz de detectar inmediatamente cuáles son las cuestiones principales y cuáles son secundarias (separando los datos relevantes de los detalles insignificantes).

Además existen estas otras limitaciones:

- Falta de capacidad de aprendizaje. Los expertos humanos son capaces de aprender de la experiencia.

- Capacidad de manejar conocimiento no estructurado. El experto humano organiza y usa la información y el conocimiento presentados de forma poco ordenada.
- Funciones genuinamente humana. por ejemplo, todo lo relacionado con el lenguaje natural, la formación de conceptos, el conocimiento de sentido común y la creación quedan fuera de los Sistemas Expertos, al menos, en el estado actual del conocimiento.
- La extracción del conocimiento es el problema más complejo que se les plantea a los Ingenieros de Conocimientos.
- Los SE son incapaces de reconocer un problema para el que su propio conocimiento es inaplicable o insuficiente.

2.3.3. CARACTERÍSTICAS DE UN SISTEMA EXPERTO

Un Sistema Experto según (Giarratano, 2001) suele diseñarse para que tenga las siguientes características:

- ✓ Alto desempeño. La calidad de la respuesta del SE debe ser de un nivel igual o superior al de un especialista en el campo.
- ✓ Tiempo de respuesta adecuado. El SE debe actuar en un tiempo razonable, comparable o mejor al tiempo requerido por el especialista para alcanzar una decisión.
- ✓ Confiabilidad. El SE debe ser confiable y no propenso a “caídas”.
- ✓ Comprensible. El SE debe ser capaz de explicar los pasos de su razonamiento mientras se ejecutan, de tal modo que sea comprensible.
- ✓ Flexibilidad. Debido a la gran cantidad de conocimiento que un SE puede tener, es importante contar con un mecanismo eficiente para añadir, modificar y eliminar conocimientos.

2.3.4. DIFERENCIA ENTRE UN SISTEMA EXPERTO Y UN EXPERTO HUMANO

En la Tabla 2.2 se muestra algunas de las diferencias que existen entre un sistema experto y un experto humano.

	Sistema Experto	Experto Humano
Conocimiento	Adquirido	Adquirido e Innato
Adquisición del conocimiento	Teórico	Teórico y Practico
Campo	Único	Múltiples
Explicación	Siempre	A veces
Limitación de capacidad	Si	Sí, no valuable
Reproducible	Sí, idéntico	No
Vida	Infinita	Finita

Tabla2. 2 Diferencia entre un sistema experto y un experto humano

Fuente: [Quintanar, 2007]

2.3.5. COMPARACIÓN ENTRE UN SISTEMA EXPERTO Y UN SISTEMA CLÁSICO

Es claro que un sistema experto es muy diferente a un sistema clásico o tradicional especialmente por el uso de heurísticas ya que contribuye grandemente a la potencia y flexibilidad de los SE y tiende a distinguirlos aún más de los sistemas tradicionales. (Rolston, 1995), en la Tabla 2.3 se muestra la comparación de algunas de éstas diferencias.

Sistema Clásico	Sistema Experto
Conocimiento y procedimiento combinados en un programa.	Base de conocimiento separada del mecanismo.
No contiene errores.	Puede contener errores.
No da explicaciones, los datos solo se usan o se escriben.	Una parte del sistema experto forma la parte del módulo de explicación.
Los cambios son tediosos pero no frecuentes.	Los cambios en las reglas, e interacción de estas se hace de manera sencilla pero frecuentes.
El sistema solo opera completo.	El sistema puede prescindir de algunas reglas y componentes.

Se ejecuta en paso a paso.	La ejecución utiliza heurísticas y lógica.
Necesita información completa para operar.	Puede operar con información incompleta.
Representa y usa datos.	Representa y usa conocimientos.
Trabajan sobre un único dominio.	Pueden abarcar una amplia gama de dominios.
Usa tipos de datos Numéricos.	Usa tipos de datos Simbólicos.
Tiene conocimientos Precisos.	Tiene conocimientos Imprecisos.
Las soluciones son óptimas.	Las soluciones son satisfactorias.

Tabla2. 3 Comparación Sistema Clásico Vs. Sistema Experto

Fuente: [Quispe, 2006]

2.3.6. ARQUITECTURA DE UN SISTEMA EXPERTO

Los sistemas expertos emplean una amplia variedad de arquitecturas específicas en sus sistemas. A pesar de las diferencias significativas, la mayoría de las arquitecturas tienen muchos componentes en común. La figura 2.3 muestra una arquitectura general de cualquier sistema experto con sus componentes típicos.

Un sistema experto como tal debe estar bien estructurado ya que su trabajo es muy difícil, a continuación se dan mayores detalles de las partes o componentes principales de un SE.

2.3.6.1. BASE DE CONOCIMIENTO (BC)

La BC puede definirse como la unión del conjunto de aserciones⁵ y el conjunto de reglas. La BC contiene el conocimiento que el SE maneja, es decir una formulación manipulable, del área del conocimiento sobre el cual el sistema es experto. Su construcción es un punto crucial en el desarrollo del SE ya que un error en su diseño lleva directamente a su mal funcionamiento, su función es suministrar al motor de inferencia, información sobre la naturaleza del problema a manejar.

⁵ Acción y efecto de afirmar o dar por cierta una cosa.

2.3.6.2. **BASE DE DATOS (BD)**

Comúnmente llamada también Base de Hechos. Está formada por distintos datos sobre el problema particular que el sistema experto está intentando resolver, su función es suministrar información al motor de inferencia.

2.3.6.3. **MEMORIA DE TRABAJO (MT)**

Es una base de datos temporal, en la cual el motor de inferencia deja información deducida a partir de: la Base de Conocimiento, la Base de Datos y la Memoria de Trabajo.

2.3.6.4. **MOTOR DE INFERENCIA (MI)**

Es el sistema de software que ubica los conocimientos e infiere nuevos usando la base de conocimientos, trabaja de la siguiente manera: El MI activa las reglas en función de la información contenida en la base de datos y la memoria de trabajo, la nueva información es puesta en la memoria de trabajo, también se encarga de proporcionar al trazador de explicaciones, las reglas que motivaron una determinada consulta al usuario.

El paradigma del MI es la estrategia de búsqueda que se emplea para producir el conocimiento demandado, varios paradigmas diferentes se emplean en un SE, pero la mayoría de ellos se basan en dos conceptos fundamentales que son:

- *Encadenamiento hacia atrás* (o retroencadenamiento) que es un proceso de razonamiento descendente, que se inicia a partir de los objetivos deseados y trabaja hacia atrás en dirección a las condiciones pre-requisitos.
- *Encadenamiento hacia adelante* (o encadenamiento frontal) que es un procesamiento de razonamiento ascendente que se inicia con condiciones conocidas y trabaja hacia adelante para alcanzar los objetivos deseados.

2.3.6.5. **TRAZADOR DE CONSULTAS (TC)**

Organiza y presenta en una forma semántica y sintácticamente aceptable para el usuario, los requerimientos de información del sistema, las respuestas suministradas por el usuario serán asentadas en la Memoria de Trabajo.

2.3.6.6. **EL TRAZADOR DE EXPLICACIONES (TE)**

Llamado también como Modo de Explicación. Un sistema experto debe diseñarse para brindar la facultad de explicación que generalmente está ausente en los sistemas tradicionales, ésta consiste en una identificación de los pasos en el razonamiento y de una justificación de cada uno de ellos. Interpreta requerimientos del usuario sobre el porqué de determinadas preguntas por parte del sistema, trazando la justificación de las mismas, es decir explica al usuario la estrategia de solución encontrada y el porqué de las decisiones tomadas. Esta traza se realiza utilizando información que le suministra el Motor de Inferencia.

2.3.6.7. **EXPERTO HUMANO**

La función que cumple es la de ordenar, estructurar y fundamentar su conocimiento, respecto de las preguntas formuladas por el ingeniero del conocimiento, que exige razones, explicando los porqué de las mismas y controla la coherencia del conocimiento en su conjunto, no permitiendo contradicciones en el mismo.

2.3.6.8. **ADQUISICIÓN DEL CONOCIMIENTO**

Depura el conocimiento realizando un control más ordenado y fiable avisando de las imperfecciones detectadas. Es frecuente encontrar contradicciones, lo que podría impedir su correcto funcionamiento. Este módulo permite al ingeniero del conocimiento y/o experto la construcción de la base de conocimiento de una forma sencilla, masi como disponer de una herramienta de ayuda para actualizar la base de conocimiento cuando sea necesario.

2.3.6.9. INGENIERO DEL CONOCIMIENTO

Es la persona que obtiene los conocimientos del área del experto y la transporta a la base de conocimientos

2.3.6.10. INTERFAZ DE USUARIO

Es el mecanismo que permite la comunicación entre el usuario y el sistema experto.

2.3.6.11. USUARIO

El usuario aporta sus deseos y sus ideas, determinando especialmente el escenario en el que debe aplicarse el sistema experto.

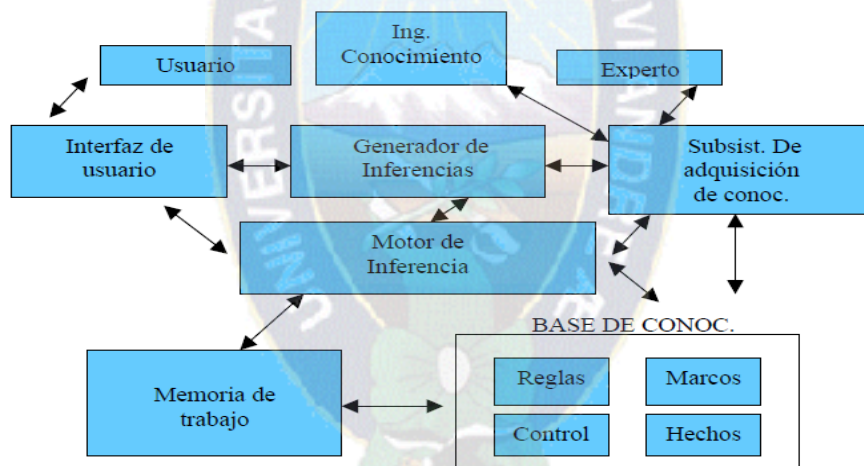


Figura 2. 3 Estructura de un Sistema Experto

Fuente: [Dones, 2005]

2.3.7. METODOLOGÍA BUCHANAN

La metodología que se utiliza es la de Buchanan que tiene como pilar básico la adquisición de conocimiento (de distintas fuentes, como ser libros, expertos, otros). (García Martínez & Britos, 2004)

Las etapas que contempla esta metodología y que el ingeniero de conocimiento debe pasar para construir un Sistema Experto son seis: Identificación, Conceptualización, Formalización, Implementación, Revisión del prototipo y Testeo.

En la adquisición de conocimiento el ingeniero de conocimiento procede a través de una serie de pasos para producir un SE. La característica más importante de esta metodología es la constante relación entre el ingeniero de conocimiento y el experto humano del área, se destacan 6 etapas o fases fundamentales.

2.3.7.1. IDENTIFICACIÓN

La Identificación es familiarizarse con el Problema y el dominio. Abarca desde la lectura de libros o artículos, las entrevistas o charlas con las personas familiarizadas con el tema y la búsqueda de un experto que esté dispuesto a colaborar en la construcción del sistema; como también la definición de cuáles son las funciones o tareas más idóneas para ser realizadas por el sistema experto.

Estas tareas son importantes para determinan que lenguaje y que sistema se usará. El ingeniero de conocimiento debe sentirse razonablemente cómodo respecto del dominio del problema, como para conversas inteligentemente con el experto, en resumen:

- ✓ Se identifican los participantes y roles, los recursos, fuentes de conocimiento.
- ✓ Se establecen las facilidades computacionales y presupuestos.
- ✓ Se identifican los objetivos o metas.

2.3.7.2. CONCEPTUALIZACIÓN

La conceptualización es delimitar el sistema, significa que por medio de entrevistas con el experto, con el objetivo de identificar y caracterizar el problema informalmente. El experto de campo y el ingeniero de conocimiento definen el alcance del sistema experto, es decir, que problemas va a resolver concretamente el sistema experto.

Se analizarán los conceptos infundidos por el experto de campo, los mismos serán tomados en cuenta con sumo interés, pues el experto humano es quién conoce en detalle los fundamentos articulares del tema a investigar.

2.3.7.3. FORMALIZACIÓN

La formalización es obtener la estructura de inferencia del sistema experto. Con el problema adecuadamente definido el ingeniero de conocimiento empieza a determinar los principales conceptos del dominio que se requieren para realizar cada una de las tareas que va a resolver el sistema. Esto es importante para la tarea de definición del sistema experto y para mantener una adecuada documentación del mismo, ya que es útil para la tarea de diseño, construcción y para posteriores modificaciones del sistema.

El ingeniero de conocimiento debe prestar atención al experto de campo para encontrar la estructura básica que el experto utiliza para resolver el problema. Está formada por una serie de mecanismos organizativos que el experto de campo usa para manejarse en ese dominio. Esta estructura básica de organización del conocimiento le permite al experto realizar ciertos tipos de inferencias.

El ingeniero de conocimiento además debe reconocer las estrategias básicas que usa el experto cuando desarrolla su tarea, que hechos establece primero, que tipos de preguntas realiza primero, si define supuestos inicialmente sin bases con información tentativa, como determina el experto que pregunta debe usar para refinar sus suposiciones y en qué orden el experto prosigue con cada subtarea y si ese orden varía según el caso.

En resumen en la etapa de formalización se identifican los conceptos relevantes e importantes además el resultado de formalizar el diagrama de información conceptual y los elementos subproblemas es una especificación parcial para construir un prototipo de la base de conocimiento.

2.3.7.4. **IMPLEMENTACIÓN**

La implementación es definir el prototipo del Sistema Experto. El ingeniero de conocimiento debe formalizar el conocimiento obtenido del experto. Esta tarea implica definir que arquitectura permitirá una mejor organización del conocimiento. Es necesario elegir la organización, lenguaje y medio ambiente de programación adecuados para la aplicación particular.

Se definen los conceptos primitivos, con la forma de representación elegida. Este es el primer paso hacia la implementación del prototipo. El ingeniero de conocimiento a medida que se desarrolla el prototipo deberá realizar y procurar lo siguiente:

- 1) Que el formalismo usado es el apropiado para reflejar los conceptos y el proceso de inferencia del experto.
- 2) Que las características particulares de construcción del lenguaje capturen exactamente los aspectos estructurales más importantes de los conceptos usados por el experto.
- 3) Que la estructura del control del lenguaje al activar las reglas refleje la estrategia usada por el experto.
- 4) Que las reglas reflejen asociaciones y métodos que: son los usados por el experto y son modelos aceptables de dichos métodos.

El ingeniero de conocimiento puede presentar las reglas definidas y en ocasiones los resultados obtenidos al usar las reglas, para que el experto manifieste su opinión sobre la representación y soluciones.

2.3.7.5. **TESTEO**

El testeo es optimizar el prototipo del sistema experto. Se observa el comportamiento del prototipo, el funcionamiento de la base de conocimiento y la estructura de las inferencias, verificándose que el Sistema Experto posea eficiencia.

2.3.7.6. REVISIÓN DEL PROTOTIPO

Se refina el sistema prototipo, depurado la base de conocimientos, refinando reglas, rediseñando la estructura del conocimiento, o reformulando conceptos básicos, con el objetivo de capturar información adicional que haya proporcionado el experto. También se consultan en esta etapa otros expertos para corroborar, controlar, ampliar y refinar el prototipo.

En la figura 2.4 se presenta un procedimiento general propuesto para el presente trabajo para el diseño de un sistema experto rigiéndose en las etapas de la metodología Buchanan y la construcción de un SE según la ingeniería de un sistema experto.

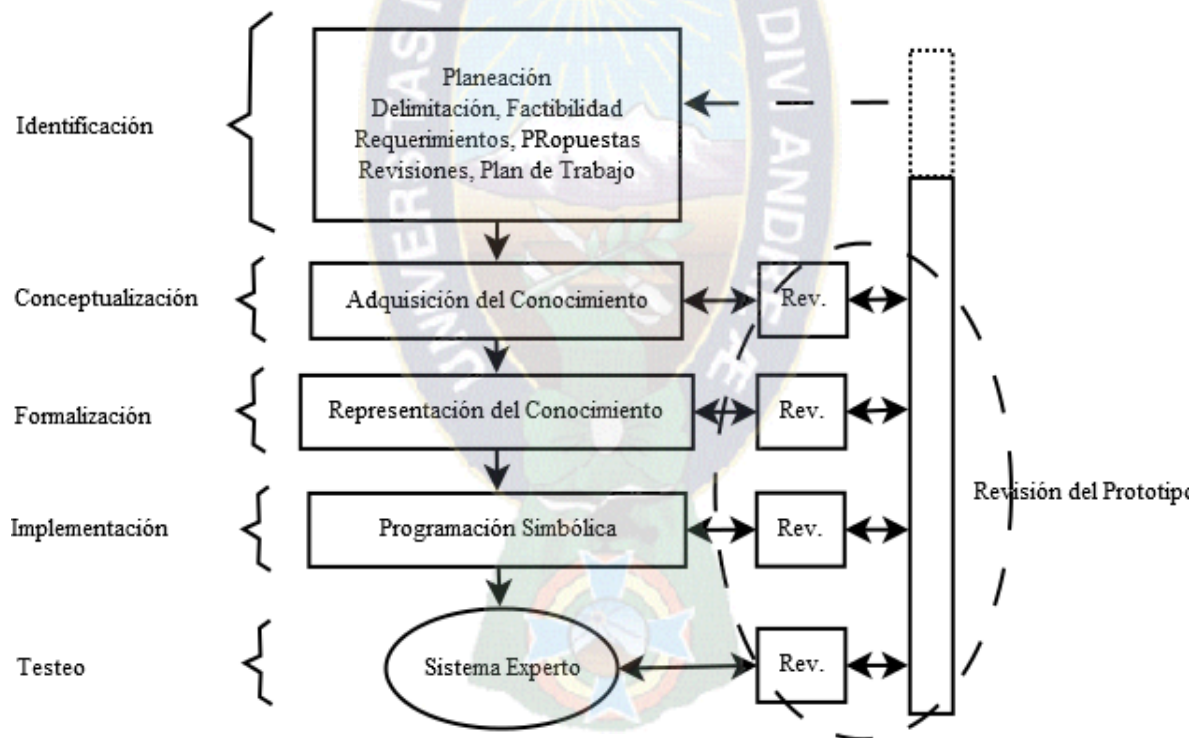


Figura 2. 4 Etapas para la elaboración de un SE según la metodología Buchanan.

En la planeación debe considerarse las siguientes interrogaciones:

- ¿Es necesario y realizable un sistema experto?

- ¿Quiénes son los encargados a realizarlo?
- ¿Qué expertos humanos participarán en el proceso de adquisición de conocimiento?
- ¿Qué presupuesto estimado se necesita?
- ¿Qué tiempo y medios se necesitan?

Una vez realizadas estas preguntas, se debe buscar a un experto con los que se trabajará y los requerimientos específicos de los usuarios finales. Con la ayuda de éstos se debe definir la forma en la que será construido el sistema y la forma en la que se realiza la tarea mediante conceptos sobre la problemática específica (diseños conceptuales). En cuanto a la adquisición del conocimiento se refiere a como se obtendrá el conocimiento del experto humano, la representación del conocimiento se refiere a la formalización como tal del conocimiento adquirido, representando simbólicamente sus características y propiedades, por último la programación simbólica se refiere a la implementación del sistema experto, en este caso la implementación del prototipo del SE, se debe elegir la herramienta con la que se realizara la máquina de inferencia y un lenguaje de programación para el interfaz de usuario. (Soliz, 2008)

2.3.8. LENGUAJES Y SHELLS DE UN SISTEMA EXPERTO

2.3.8.1. HERRAMIENTAS, SHELL (CARCAZAS) Y SOPORTES

Solamente un pequeño número de métodos de IA se sabe que son útiles en los sistemas expertos. Es decir, hay actualmente solo un puñado de maneras para representar el conocimiento, o hacer deducciones, o generar explicaciones. Así, los sistemas que contienen estos métodos útiles pueden ser construidos sin ningún conocimiento específico del dominio. Tales sistemas se conocen como sistemas Shell (carcaza), o simplemente herramientas soporte de la IA.

La construcción de los sistemas expertos usando shell ofrece ventajas significativas donde el sistema de IA se puede construir para realizar una tarea única entrando todo el

conocimiento necesario acerca del dominio de la tarea en un shell. El motor de la inferencia que aplica el conocimiento a la tarea actual se construye en el shell. Si el programa no es muy complicado y si un experto ha tenido cierto entrenamiento en el uso de un shell, el experto puede entrar en el conocimiento mismo de la tarea.

Muchos shell comerciales están disponibles hoy, extendiéndose desde shell de tamaño para PC y shell para sitios de trabajo, a los Shell para los grandes ordenadores centrales. Se extienden en precio de centenares a millares de dólares, y de rango en complejidad simple, encadenado adelante, sistemas basados en reglas que requieren dos días de entrenamiento a esos tan complejos que solamente los ingenieros del conocimiento altamente entrenados pueden utilizarlos. Se extienden desde shell de uso general a los shell adaptados a una clase de tarea, tales como hojas de operación (planning) financieras o control de proceso en tiempo real.

Aunque los shell simplifican la programación, en general no ayudan con la adquisición del conocimiento. La adquisición del conocimiento refiere a la tarea de dotar los sistemas expertos con el conocimiento, una tarea realizada actualmente por los ingenieros del conocimiento. La opción del método del razonamiento, o un shell, es importante, pero no es tan importante como la acumulación del conocimiento de la alta calidad. El poder de un sistema experto radica en la acumulación del conocimiento acerca del dominio de la tarea; a mayor conocimiento en un sistema más competente llega a ser.

2.3.8.2. LENGUAJE DE PROGRAMACIÓN

La hipótesis fundamental del funcionamiento de IA es que el comportamiento inteligente se puede describir exactamente como la manipulación del símbolo y se puede modelar el proceso de símbolo con las capacidades de la computadora. En los años 50 los lenguajes de programación especiales fueron inventados para facilitar la manipulación del símbolo. El más destacado se llama LISP (LIST Processing). Debido a su elegancia y simple

flexibilidad, la mayoría de los programas de investigación de IA se escriben en LISP, pero las aplicaciones comerciales se han alejado del LISP.

A principios de los años 70 otro lenguaje de programación de IA fue inventado en Francia. Se llama PROLOG (PROgramming in LOGic). El LISP tiene sus raíces en un área de las matemáticas, PROLOG en otra.

PROLOG consiste en las declaraciones que son hechos (afirmaciones), reglas (de la inferencia) y preguntas. Los programas escritos en PROLOG tienen comportamiento de gobernar los sistemas bases similar a los escritos en el LISP. PROLOG, sin embargo, no se convirtió inmediatamente en un lenguaje opcional para los programadores de IA. A principios de los años 80 fue impulsado por el aviso de Japón que utilizaría este lenguaje de programación para el proyecto de la Quinta Generación de Sistemas Informáticos; Fifth Generation Computing Systems (FGCS).

2.3.8.3. **SWI-PROLOG**

SWI-PROLOG es un código abierto de aplicación del lenguaje de programación PROLOG, comúnmente usado para la enseñanza y la web semántica de aplicaciones, cuenta con un amplio conjunto de características, las bibliotecas de la lógica de programación con restricciones, multihilo, las pruebas unitarias, interfaz gráfica de usuario, la interfaz con java, ODBC y otros, programación literaria, un servidor web, SGML, RDFS, herramientas de desarrollo (incluido un ID con un interfaz gráfico de usuario del depurador y la interfaz gráfica de perfiles), y una extensa documentación.

SWI-PROLOG es un lenguaje de programación creado para representar y utilizar el conocimiento que se tiene sobre un determinado dominio. El dominio es un conjunto de objetos y el conocimiento se representa por un conjunto de relaciones que describen las propiedades de los objetos y sus interrelaciones. Un conjunto de reglas que describa estas propiedades y estas relaciones es un programa Prolog.

SWI-PROLOG está basado en la lógica formal, permite ejecutar estatutos que no son otra cosa que operaciones de un lenguaje lógico elemental y particular de cláusulas. Prolog por su naturaleza muestra una habilidad para describir gramáticas, en particular gramáticas libres de contexto.

2.4. LÓGICA DIFUSA

El concepto de Lógica Difusa fue concebido por Lofti A. Zaded, profesor de la Universidad de California en Berkeley, quién inconforme con los conjuntos clásicos que sólo permiten dos opciones, la pertenencia o no de un elemento a dicho conjunto, la presentó como una forma de procesar información permitiendo pertenencias parciales a unos conjuntos, que en contraposición a los clásicos los denominó Conjuntos Difusos (fuzzy sets).

El concepto de conjunto difuso fue expuesto por Zadeh el año 1965 y dice: "La lógica difusa trata de copiar la forma en que los humanos toman decisiones" no siendo decisiones que solamente expresan verdad o falsedad en la respuesta.

La lógica difusa es una metodología que proporciona una manera simple y elegante de obtener una conclusión a partir de información de entrada vaga, ambigua, imprecisa, con ruido o incompleta. En general la lógica difusa imita como una persona toma decisiones basada en información con las características mencionadas. Una de las ventajas de la lógica difusa es la posibilidad de implementar sistemas basados en ella tanto en hardware como en software o en combinación de ambos.

La lógica difusa es una técnica de la inteligencia computacional que permite trabajar con información con alto grado de imprecisión, en esto se diferencia de la lógica convencional que trabaja con información bien definida y precisa. Es una lógica multivaluada que permite valores intermedios para poder definir evaluaciones entre sí/no, verdadero/falso, negro/blanco, caliente/frío, etc.

2.4.1. CONJUNTOS DIFUSOS

Los conjuntos difusos pueden ser considerados como una generalización de los conjuntos clásicos, la teoría clásica de conjuntos solo contempla la pertenencia o no pertenencia de un elemento a un conjunto, sin embargo la teoría de conjuntos difusos contempla la pertenencia parcial de un elemento a un conjunto, es decir, cada elemento presenta un grado de pertenencia a un conjunto difuso que puede tomar cualquier valor entre 0 y 1.

Este grado de pertenencia se define mediante la función característica asociada al conjunto difuso, que es cada valor que pueda tomar un elemento o variable x , es decir, la función característica o de pertenencia denotada por $\mu_A(x)$ proporciona el grado de pertenencia de este valor de x al conjunto difuso A .

Formalmente un conjunto difuso en el universo de discurso (son todos los valores que pueden ser tomados por un atributo) U se caracteriza por una función de pertenencia o característica $\mu_A(x)$ que toma valores en el intervalo $[0,1]$, y puede representarse como un conjunto de pares ordenados de un elemento x y su valor de pertenencia al conjunto:

$$A = \{(x, \mu_A(x)) | x \in U\}$$

2.4.2. FUNCIÓN DE PERTENENCIA

La función de pertenencia o característica proporciona una medida de grado de similitud de un elemento de U con el conjunto difuso. La forma de una función de pertenencia utilizada, depende del criterio aplicado en la resolución de cada problema y variara en función de la cultura, geografía, época o punto de vista del usuario. La única condición que debe cumplir una función de pertenencia es que tome valores entre 0 y 1, con continuidad.

Entre las funciones de pertenencia típicas pueden distinguirse:

- a) **Función Triangular.** Se encuentra definida por sus límites: inferior a y superior b , y el valor modal m , tal que $a < m < b$. La función triangular se representa como se ve en la Figura 2.5.

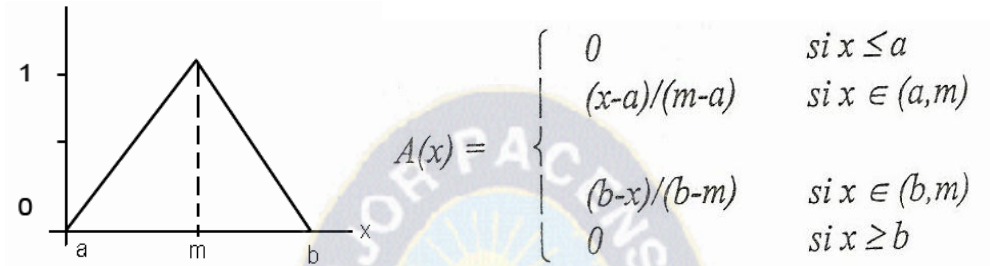


Figura 2. 5 Función Triangular

Fuente: [Nina, 2009]

- b) **Función Trapezoidal.** Se encuentra definida por sus límites inferior a y superior d , y los límites de su soporte, b y c , inferior y superior respectivamente. La función trapezoidal se representa como se ve en la Figura 2.6.

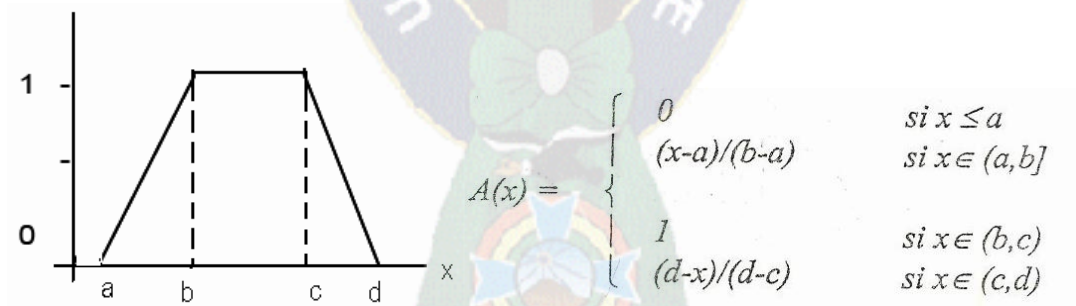


Figura 2. 6 Función Trapezoidal

Fuente: [Nina, 2009]

- c) **Función S.** Se encuentra definida por sus límites: inferior a y superior b , y el valor m , denominado punto de inflexión, tal que $a < m < b$. Un valor típico de esta

función es el promedio $m = (a + b)/2$. El crecimiento es más lento cuanto mayor sea la distancia $(a - b)$. La función S se representa como se ve en la Figura 2.7.

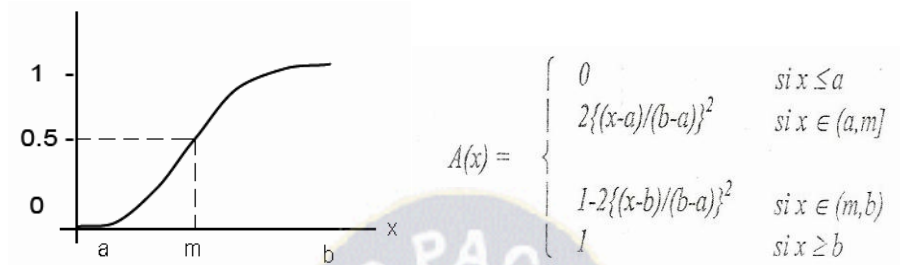


Figura 2. 7 Función S

Fuente: [Nina, 2009]

En general, es preferible usar funciones simples, debido a que simplifican muchos cálculos y no pierden exactitud, debido a que precisamente se está definiendo un concepto difuso.

Conceptualmente existen dos aproximaciones para determinar la función de pertenencia asociada a un conjunto: la primera aproximación está basada en el conocimiento humano de los expertos y la segunda aproximación es utilizar una colección de datos para diseñar la función. El número de funciones características asociadas a una misma variable es elegido por el experto: a mayor número de funciones características tendremos mayor resolución pero también mayor complejidad computacional; además estas funciones pueden estar solapadas, lo que pone de manifiesto un aspecto clave de la lógica difusa a la vez, es decir, “el vaso puede estar medio lleno y medio vacío a la vez”.

2.4.3. VARIABLES LINGÜÍSTICAS

En la vida cotidiana se utilizan palabras para describir variables, por ejemplo cuando se dice “hoy hace calor” es equivalente a decir la temperatura actual es alta, se utiliza la palabra alta, para describir la temperatura actual, es decir, la variable temperatura actual toma la palabra alta como su valor.

Cuando una variable toma números como sus valores, se tiene un marco de trabajo bien formulado matemáticamente, pero cuando una variable toma palabras como sus valores no se tiene un marco de trabajo formal matemáticamente, de aquí que el concepto de variable lingüística se introduce, si una variable puede tomar palabras en lenguaje natural como sus valores, esta es llamada variable lingüística.

A continuación en la Figura 2.8 se ve los elementos de un conjunto difuso.

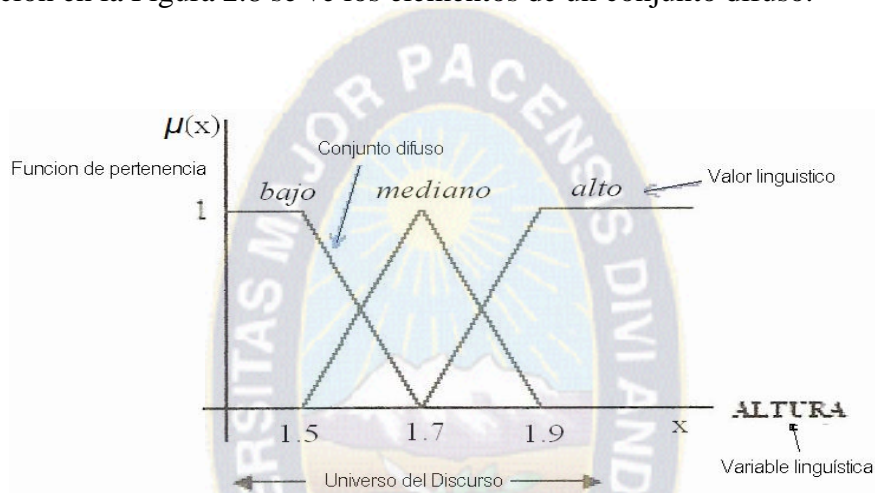


Figura 2. 8 Elementos de un Conjunto Difuso

Fuente: [Nina, 2009]

2.4.4. INFERENCIA DIFUSA

Se llama reglas difusas al conjunto de proposiciones IF – THEN que modelan el problema que se quiere resolver. Una regla difusa simple tiene la forma:

“si u es A entonces v es B”

Donde A y B son conjuntos difusos definidos en los rangos de u y v respectivamente. Una regla expresa un tipo de relación entre los conjuntos A y B cuya función característica sería $\mu_{A \rightarrow B}(x, y)$ y representa lo que conocemos como implicación lógica. La elección apropiada de esta función característica está sujeta a las reglas de la lógica proposicional.

2.4.5. REGLAS DIFUSAS

Una regla difusa base es un conjunto de reglas Si – ENTONCES que pueden ser expresadas de la siguiente forma:

Regla^m: Si u_1 es A_1^m y u_2 es A_2^m y u_p es A_p^m

Entonces v es B^m

Con $m = 1, 2, 3, \dots, M$

Donde A_i^m y B^m son conjuntos difusos, $u_i \in U$ y $v \in V$.

Existen dos caminos para obtener el conjunto de reglas correspondiente a un conjunto de datos numéricos: dejar que los datos establezcan los conjuntos difusos que aparecen en los antecedentes y los consecuentes; predefinir los conjuntos difusos para antecedentes u consecuentes para luego asociar los datos a esos conjuntos.

Para llegar a obtener el conjunto completo de reglas que modelan un problema se puede partir de considerar todas las combinaciones de reglas P_t , que es posible establecer teóricamente, entre el número de antecedentes p y el número de conjuntos difusos de entrada A_p considerados para cada antecedente. Así, para cada consecuente, el número teórico de reglas posibles será:

$$P_t = \prod_n A_n \quad \text{para } n = 1, \dots, p;$$

Sin embargo entre estas P_t reglas teóricamente posibles para cada consecuente, habrá algunas que no tengan sentido físico y otras que no se ajusten a las características del problema a resolver. Se deberá pues seleccionar, de entre todas las reglas posibles, el conjunto de reglas más adecuadas al problema que se considera.

2.4.6. IMPLICACIÓN DIFUSA

Al igual que para describir las nociones básicas de la teoría de conjuntos difusos podemos establecer un paralelismo con las de la teoría clásica de conjuntos, también los fundamentos de la teoría de la lógica difusa parten y toman los conceptos fundamentales de la lógica clásica. En términos de la teoría de lógica difusa la proposición “si u es A entonces v es B ” donde $u \in U$ y $v \in V$, tiene asociada una función característica $\mu_{A \rightarrow B}(x, y)$ que toma valores en el intervalo $[0,1]$. Es decir, cada una de las reglas o proposiciones if – then es a su vez un conjunto difuso con su función característica que mide el grado de verdad de la relación de implicación entre x e y .

En la lógica difusa el Modus Ponens se extiende a lo que se llama Modus Ponens Generalizado y que puede resumirse de la siguiente forma:

Premisa 1: “ u es A ”

Premisa 2: “Si u es A entonces v es B ”

Consecuencia: “ v es B ”

En donde el conjunto difuso A no tiene por qué ser necesariamente el mismo que el conjunto difuso A del antecedente de la regla y el conjunto difuso B tampoco tiene por qué ser necesariamente que el conjunto difuso B que aparece en el consecuente de la regla.

2.5. ARTRITIS

Cuando hablamos de artritis en términos generales, se hace referencia a distintas enfermedades reumáticas que se caracterizan por producir una inflamación en las articulaciones. Dependiendo de su intensidad, pueden afectar a una o varias articulaciones y provocar otros síntomas como cansancio, fiebre y pérdida de peso.

La artritis reumatoide, es una forma de artritis que causa inflamación en la envoltura de las articulaciones, dolor, rigidez y pérdida de sus funciones. Es una enfermedad crónica que

puede afectar a cualquier articulación, aunque es bastante frecuente en las muñecas, las articulaciones de los dedos, los codos, los hombros, las caderas, las rodillas, los tobillos y los dedos de los pies.

2.5.1. ARTRITIS REUMATOIDE

La artritis reumatoide, es una enfermedad crónica autoinmunológica, es la forma de artritis más devastadora. Esta enfermedad crónica se caracteriza por dolor y rigidez de las articulaciones en ambos lados del cuerpo, que pueden agrandarse y deformarse.

La artritis reumatoide afecta más a las mujeres que a los hombres (el 70 por ciento de las personas que tienen artritis reumatoide son mujeres). La enfermedad suele aparecer en personas de edad madura, pero también se presenta en personas de tan sólo 20 años de edad. Los pacientes con artritis reumatoide también pueden tener osteoporosis, un deterioro progresivo de la densidad ósea.

La artritis reumatoide es una enfermedad autoinmunológica, es decir, que el sistema inmunológico del cuerpo ataca a sus propias células y tejidos sanos. Aunque su causa exacta es desconocida, los investigadores creen que en su aparición pueden contribuir varios factores, tales como:

- Factores genéticos
- Factores hormonales
- Obesidad
- Infecciones
- Tabaquismo
- Enfermedades cardiovasculares

Aunque el clima y humedad no son causantes de la AR es cierto que los cambios atmosféricos provocan más dolor en las articulaciones dañadas.

2.5.2. SÍNTOMAS

Las articulaciones que con mayor frecuencia resultan afectadas por la artritis reumatoide son las de las manos, las muñecas, los pies, los tobillos, las rodillas, los hombros y los codos. La enfermedad generalmente causa inflamación simétrica en el cuerpo, es decir, que las dos articulaciones a ambos lados del cuerpo resultan afectadas. Los síntomas de la artritis reumatoide pueden empezar de forma repentina o gradualmente. A continuación, se enumeran los síntomas más comunes de la artritis reumatoide. Sin embargo, cada individuo puede experimentar los síntomas de una forma diferente.

Los síntomas pueden incluir los siguientes:

- Dolor e inflamación de las articulaciones.
- Rigidez de las articulaciones.
- Articulaciones agrandadas o deformes (como por ejemplo los dedos torcidos hacia el meñique o las muñecas hinchadas).
- Articulaciones congeladas (las articulaciones que se quedan fijas en una posición).
- Quistes detrás de las rodillas, que pueden romperse y producir dolor e inflamación de la pierna.
- Nódulos duros (abultamientos) por debajo de la piel de las articulaciones afectadas.
- Fiebre baja.
- En ocasiones se produce inflamación de los vasos de la sangre (vasculitis) que provoca lesiones de los nervios y úlceras en las piernas.
- Inflamación de las membranas que rodean los pulmones (pleuritis), del saco que rodea el corazón (pericarditis) o bien inflamación y cicatrización de los pulmones, que puede provocar dolor en el pecho, dificultad para respirar y funcionamiento anormal del corazón.
- Ganglios linfáticos inflamados.
- Síndrome de Sjögren (resequedad de los ojos y la boca).

- Inflamación del ojo.

Los síntomas de la artritis reumatoide pueden parecerse a los de otras condiciones o problemas médicos, entre los que se incluyen la fiebre reumática aguda, la enfermedad de Lyme, la artritis psoriásica, la artritis gonocócica y la espondilitis anquilosante.

2.5.3. DIAGNÓSTICO

El diagnóstico de la artritis reumatoide puede resultar difícil en las primeras etapas de la enfermedad porque los síntomas pueden ser muy leves y no se detectan alteraciones en los rayos X ni en los exámenes de sangre. El diagnóstico generalmente se confirma con la historia médica y un examen físico completo, que puede incluir lo siguiente:

- Rayos X - energía electromagnética utilizada para registrar en una placa imágenes de huesos y órganos internos.
- Aspiración articular - consiste en extraer líquido de la articulación.
- Biopsia de los nódulos - consiste en extraer muestras de tejidos por medio de una aguja o durante una operación para examinarlas al microscopio.
- Exámenes de sangre para detectar ciertos anticuerpos (llamado factor reumatoide) y otros indicadores de artritis reumatoide.

Sin embargo se puede confirmar el diagnóstico de artritis reumatoide cuando una persona presenta cuatro o más de los criterios de clasificación definidos por la American College of Rheumatology (ACR), estos criterios son:

- Rigidez matutina que dura más de una hora durante al menos seis semanas.
- Tres o más articulaciones inflamadas durante al menos seis semanas.
- Presencia de artritis en las articulaciones de la mano, la muñeca o los dedos de las manos durante al menos seis semanas.
- Factor reumatoide positivo en los exámenes de sangre.
- Rayos X que muestren los cambios típicos en las articulaciones.

2.5.4. TRATAMIENTO

El tratamiento de la artritis reumatoide depende de su gravedad. Cuanto antes se diagnostique y se inicie el tratamiento, más será el daño y los deterioros de las articulaciones que pueden prevenirse. El tratamiento puede variar entre terapias sencillas como la dieta y el reposo, a terapias más agresivas entre las que se incluyen medicamentos. El tratamiento específico para la artritis reumatoide será determinado por su médico basándose en:

- ✓ Su estado general de salud y su historia médica.
- ✓ Que tan avanzada está la condición.
- ✓ Su tolerancia a determinados medicamentos, procedimientos o terapias.
- ✓ Sus expectativas para la trayectoria de la enfermedad.
- ✓ Su opinión o preferencia.

El tratamiento puede incluir lo siguiente:

- ✓ Reposo regular de las articulaciones afectadas.
- ✓ Medicamentos antiinflamatorios no esteroideos, como por ejemplo el ibuprofeno.
- ✓ Medicamentos modificadores de la enfermedad, tales como los de acción lenta, para retardar la deformación de los huesos.
- ✓ Corticoesteroides para reducir la inflamación.
- ✓ Medicamentos inmunodepresores para eliminar la inflamación, como por ejemplo el metotrexato.
- ✓ Ejercicios para que las articulaciones mantengan la máxima flexibilidad posible.
- ✓ Fisioterapia para evitar que las articulaciones se queden "congeladas" (se vuelvan inmóviles).
- ✓ Aplicar calor o frío en las articulaciones.
- ✓ Cirugía para reparar, sustituir o fusionar una articulación afectada.
- ✓ Aparatos especiales que sirvan de apoyo a la articulación afectada.

CAPÍTULO III MARCO APLICATIVO

3.1. INTRODUCCIÓN

Para diseñar y construir un sistema experto, es necesario seguir una metodología de construcción, en el presente trabajo se utiliza la metodología de Buchanan combinando sus distintas etapas con los elementos principales de un sistema experto con una arquitectura clásica, además se realiza la aplicación de conjuntos difusos para representar algunos conocimientos inciertos.

Siguiendo las etapas de la metodología Buchanan, en la etapa de Identificación se realiza el reconocimiento del problema, los encargados y participantes que intervienen en el desarrollo del sistema experto, los medios que se usan y los requerimientos necesarios para su construcción. Así también se realiza la arquitectura propuesta del sistema experto para el diagnóstico y tratamiento de la artritis reumatoide, compuesto por los componentes fundamentales de una arquitectura.

Posteriormente en la etapa de Conceptualización se realiza la adquisición del conocimiento aplicando técnicas como las entrevistas y consultas a libros, revistas y artículos referentes a la artritis reumatoide, obteniendo las conclusiones y definiciones más relevantes brindados por el experto.

Luego en la etapa de formalización se realiza la descripción formal del conocimiento, es decir se realizan distintas actividades como el diseño de la base de conocimiento que está compuesto por una base de hechos y de reglas, para dicha construcción es necesario identificar las variables de entrada, aplicando la teoría de conjuntos difuso para una mejor interpretación en los síntomas que se identifican para diagnosticar la enfermedad, se definen los conjuntos difusos y las respectivas funciones de pertenencias para aquellas variables lingüísticas que tienen un comportamiento ambiguo o borroso. El diseño del motor de inferencia se realiza en base a las reglas planteadas.

En la etapa de Implementación el sistema experto es construido con la ayuda de la herramienta de programación SWI-Prolog, programando la base de hechos y la base de reglas para que el motor de inferencia pueda inferir en base a éstos y dar un diagnóstico final.

En la etapa de Testeo, se hace las respectivas pruebas al sistema experto con 12 casos analizados. Finalmente en la etapa de Revisión del prototipo se hace la mejora y el pulido del sistema experto, esta etapa se realiza durante las cinco etapas anteriores de la metodología.

3.2. METODOLOGÍA PARA EL DESARROLLO DEL SISTEMA EXPERTO

La metodología que se utiliza para el desarrollo del sistema experto para el diagnóstico y tratamiento de la artritis reumatoide es la metodología Buchanan, que consiste en una serie de etapas o fases para su desarrollo y construcción.

3.2.1. IDENTIFICACIÓN

En esta etapa se identifican los participantes y roles; los recursos, fuentes de conocimiento; se establecen la facilidad computacional y presupuesto; y se identifican los objetivos o metas.

Como el sistema está enfocado al diagnóstico y tratamiento de la artritis reumatoide es necesario buscar al experto humano, en este caso un especialista reumatólogo y otras fuentes de información como libros y artículos para familiarizarse con el tema. Con la ayuda del experto y las fuentes de información relacionados con el campo de la artritis reumatoide, se definió la forma en la que se va a estructurar el sistema experto SEDTAR (Sistema Experto para el Diagnóstico y Tratamiento de la Artritis Reumatoide).

También se identificó a los participantes que intervienen, sus roles y las relaciones que existen entre ellos, en la Figura 3.1 se puede ver éstos participantes.

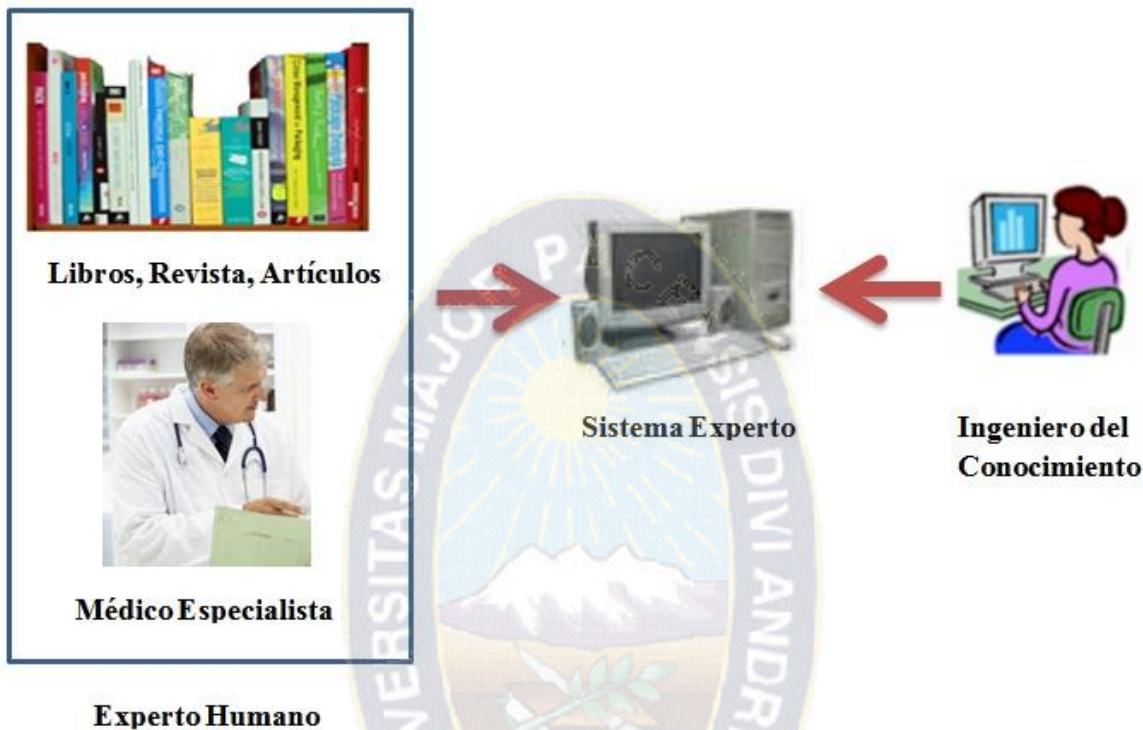


Figura 3. 1 Participantes que intervienen en el desarrollo del SEDTAR.

Un participante fundamental para el desarrollo del sistema experto es el experto humano, que en el caso de la presente tesis el experto humano será un reumatólogo como también serán los libros y artículos referentes a la Artritis Reumatoide. Otro participante no menos importante es el ingeniero del conocimiento quien se encargara de estructurar el conocimiento proporcionado por el experto humano.

La descripción del conocimiento del especialista reumatólogo y de los libro consultados se halla estructurada por un conjunto de signos y convenciones que permiten simbolizar los hechos que suceden en un proceso de diagnóstico, para la representación del conocimiento se utiliza la lógica difusa para interpretar algunos síntomas y reglas de inferencia, las últimas son para inferir las inserciones, las incertidumbres son representadas a través de la

lógica difusa. La arquitectura propuesta para el sistema experto SEDTAR se muestra en la Figura 3.2.

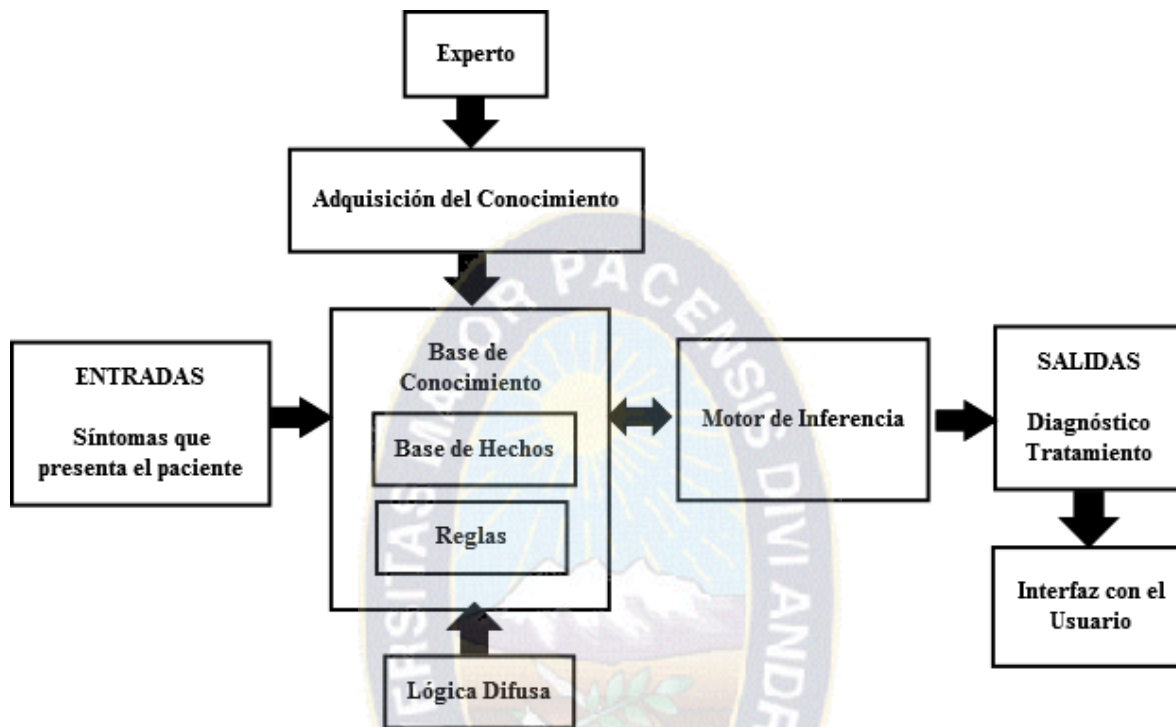


Figura 3. 2 Estructura del Sistema Experto SEDTAR.

Los componentes del sistema experto propuesto que se puede apreciar en la figura 3.2, están definidos bajo los siguientes criterios: Las entradas son los síntomas que presenta un paciente con probabilidades de tener o no artritis reumatoide. La base de conocimiento contiene el conocimiento del especialista reumatólogo convenientemente formalizado y estructurado; la representación del conocimiento permite describir los hechos que ocurren y las reglas utilizadas en el proceso de diagnóstico, en esta se usan las reglas de inferencia para inferir las inserciones, además las incertidumbres son representadas a través de la lógica difusa, para la elaboración de los conjuntos difusos de las preguntas que tienen varias respuestas posibles, también se presenta la lógica clásica que nos permite evaluar las preguntas hechas al paciente de cada síntoma, de los cuales la respuesta es Sí o No y estas últimas no necesitan función de pertenencia ya que utiliza la lógica clásica que es igual a

verdad o falsedad. Las salidas son el diagnóstico y tratamiento que resulta en función a los datos de entrada, la base de conocimiento y el motor de inferencia. Por último la interfaz de usuario es el mecanismo que permite la comunicación entre el usuario y el sistema experto.

Esta etapa permitió identificar los requerimientos para comenzar a diseñar el prototipo así como delimitar los alcances del mismo. En la Figura 3.3 se muestra de manera general el reconocimiento del problema, los encargados, los medios y los requerimientos necesarios para realizar el sistema experto.

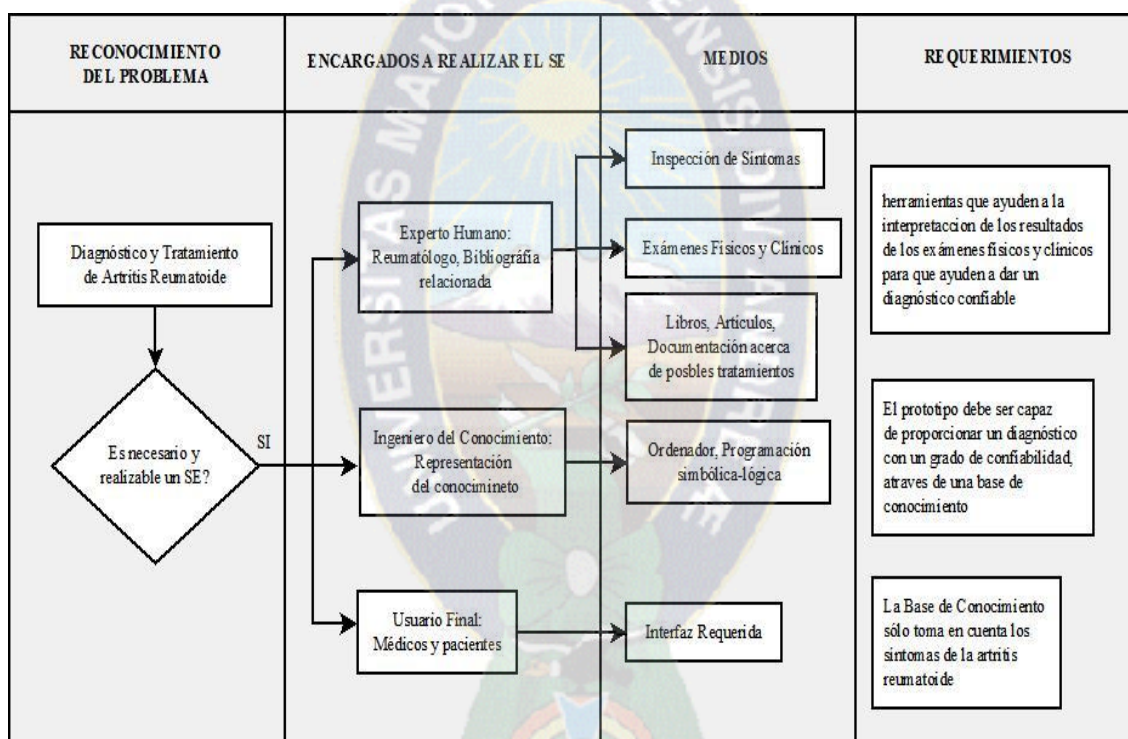


Figura 3. 3 Generalización de los participantes, medios y requerimientos para el SE.

3.2.2. ADQUISICIÓN DEL CONOCIMIENTO

La adquisición del conocimiento (AC) es el proceso de recolección de información, a partir de cualquier fuente, necesaria para construir un sistema experto. La AC es un proceso que se produce en paralelo a todas las etapas de construcción de un SE, proporcionando a cada

etapa del ciclo de vida la información que se requiere cada momento del desarrollo. Por tanto, la recolección de información no se realiza en un único paso aislado; al contrario, forma parte de cada fase. (García & Britos, 2004)

3.2.2.1. CONCEPTUALIZACIÓN

La conceptualización consiste básicamente en el entendimiento del dominio del problema y de la terminología usada. Su objetivo es identificar y caracterizar el problema informalmente por medio de entrevistas o cuestionarios hechos al especialista reumatólogo. Las entrevistas y los cuestionarios son una técnica directa de adquirir el conocimiento, tienen la ventaja de ser una forma eficiente de acumular información, pueden ser particularmente útiles para describir los conceptos del dominio, revelar relaciones en el dominio, y para determinar incertidumbre, en caso de que el SE ligue incertidumbres a sus conclusiones. En la sección de anexos se puede ver tanto la entrevista realizada al médico como también el glosario de términos y definiciones para familiarizarse con el problema de investigación planteado.

En esta fase se analizó los conceptos brindados por el experto humano en el campo. Las conclusiones y definiciones más relevantes que se obtuvieron son:

- ✚ La Artritis Reumatoide es una enfermedad inflamatoria, sistémica y crónica que produce principalmente hinchazón de las articulaciones, originando dolor, aumento de volumen que lleva a deformidad y dificultad de movimiento de las zonas afectadas.
- ✚ Pertenece al grupo de enfermedades conocidas como autoinmunes, es decir, son enfermedades que generan anticuerpos y células que atacan, de manera errónea, a elementos sanos del organismo.
- ✚ En etapas avanzadas, puede dañar otras partes del organismo, como los ojos, el corazón o los pulmones.

- ✚ Las articulaciones poseen una membrana –la membrana sinovial- que las recubre en su interior.
- ✚ Al desarrollarse esta enfermedad, la membrana sinovial se hincha provocando dolor, sensación de rigidez y pérdida de la función de la articulación afectada.
- ✚ Se producen una serie de sustancias tóxicas durante el proceso inflamatorio, que provocan fatiga, cansancio, a veces fiebre y síntomas generales, además de dolor articular e hinchazón.
- ✚ Hasta el momento no se conoce la causa de ella.
- ✚ Hay diferentes factores que la desencadenan, tales como Factores genéticos, Factores hormonales, Obesidad, Infecciones, Tabaquismo, Enfermedades cardiovasculares, así también el clima y la humedad.
- ✚ Todas las personas, independientemente de su edad o género, pueden padecer esta enfermedad, aunque la incidencia es mayor en mujeres, con una proporción de 3 a 1, y más frecuente entre los 30 y los 50 años.
- ✚ Puede aparecer en familiares de pacientes con artritis pero también en personas sin antecedentes familiares.
- ✚ Es más común su desarrollo en la edad adulta, pero hay casos en que ésta puede aparecer durante la infancia.
- ✚ No se hereda ni se contagia.
- ✚ No la provocan estilos de vida, aunque algunos de ellos agravan los síntomas, como el sobrepeso o el tabaco.
- ✚ El profesional médico más indicado para diagnosticar y tratar la artritis reumatoide es el reumatólogo.
- ✚ Si la inflamación se mantiene y no se modula, puede acabar dañando los huesos, cartílago, ligamentos y tendones que hay alrededor de la zona afectada.
- ✚ La consecuencia es la deformidad progresiva de las articulaciones y la pérdida de capacidad para llevar a cabo actividades cotidianas.
- ✚ Se ha determinado que el mayor daño articular se produce en los primeros dos años de iniciada la inflamación.

- ✚ El síntoma más frecuente es el dolor, como consecuencia de la hinchazón de las articulaciones. Otro síntoma habitual es la dificultad para realizar actividades normales, ya que el proceso inflamatorio articular genera sustancias que producen fatiga, cansancio, decaimiento e incluso fiebre.
- ✚ Para diagnosticar la artritis reumatoide, el reumatólogo tiene en cuenta la historia médica y realiza un examen físico, buscando inflamación o deformidad en las articulaciones, nódulos reumatoides en la piel e inflamación en otras partes del cuerpo.
- ✚ El especialista buscará los rasgos característicos de la enfermedad, como hinchazón, calor, movilidad limitada de las articulaciones de todo el cuerpo, así como nódulos o bultos bajo la piel. Síntomas a tener en cuenta también son la fatiga y sensación general de rigidez, especialmente al levantarse.
- ✚ El diagnóstico de la artritis está basado principalmente en la clínica, ya que los exámenes de laboratorio o las radiografías podrían no ser categóricos.
- ✚ Los pacientes pueden demorarse hasta cuatro años para llegar a un diagnóstico certero.
- ✚ Otros exámenes para confirmar el diagnóstico, son los siguientes:

Velocidad de Sedimentación Globular (VSG): es una prueba que mide la rapidez con que los glóbulos rojos descienden en un tubo de sangre durante una hora, es un indicador de inflamación.

Proteína C Reactiva (PCR): consiste en la detección de una proteína que se encuentra en la sangre, la cual se eleva cuando hay inflamación importante.

Factor Reumatoide (FR): es un anticuerpo, producido por las células B, que se dirige contra el propio organismo, aproximadamente el 80% de las personas que padecen AR tienen el FR positivo en sangre, en este caso se dice que el paciente es seropositivo para el FR, por el contrario si no aparece elevado en el análisis

sanguíneo el paciente es seronegativo. Por tanto el reporte de una cifra elevada, junto con otros hallazgos clínicos típicos de la AR, indica un posible diagnóstico.

Anticuerpos anti-PCC: esta prueba diagnóstica está dirigida a la detección de anticuerpos contra el Péptido Cíclico Citrulinado. Esta prueba es más específica para el diagnóstico.

- ✚ Las articulaciones más afectadas son las manos, muñecas, cuello, hombros, codos, caderas, rodillas, tobillos, pies y mandíbula.
- ✚ La afección suele ser simétrica, es decir, si un paciente muestra inflamación en la muñeca izquierda es muy probable que la derecha también esté inflamada. Lo más común es que las primeras alteraciones se manifiesten en las manos y en los pies.
- ✚ En la actualidad todavía no se dispone de un tratamiento que permita hablar de curación de la artritis reumatoide en su totalidad.
- ✚ Hay que comenzar su tratamiento en las fases iniciales de la enfermedad, cuando sólo hay inflamación y dolor y no están afectadas las estructuras articulares.

3.2.3. REPRESENTACIÓN DEL CONOCIMIENTO

3.2.3.1. FORMALIZACIÓN

Realizada la conceptualización del conocimiento, se procede a expresar dicho conocimiento de una manera formal. Esta etapa tiene como objetivo expresar los conocimientos sobre el problema y su resolución en estructuras que puedan ser utilizadas por una computadora.

Una de las técnicas de formalización son los sistemas de producción, que es la técnica de representación más utilizada para expresar formalmente los conocimientos de un dominio. La arquitectura de un sistema de producción está formado por tres elementos: Base de Hechos, Base de Reglas o producciones los cuales forman la base de conocimiento, y una estrategia de control.

3.2.3.2. BASE DE CONOCIMIENTO

La Base de Conocimiento contiene el conocimiento especializado extraído del experto en el dominio. Es decir, contiene conocimientos generales sobre el dominio en el que se trabaja.

3.2.3.3. VARIABLES DE LA BASE DEL CONOCIMIENTO.

Las variables de entrada identificadas para el sistema experto son todos los síntomas, posibles causas, pruebas de laboratorio y criterios de clasificación, estas variables representan el conjunto de síntomas propio de la artritis reumatoide, para luego ser procesadas mediante la inferencia para dar un resultado que en este caso viene a ser el diagnóstico precoz de la artritis reumatoide.

a) Variables para determinar las posibles causas y síntomas de la AR.

De acuerdo al análisis y estudio sobre la artritis reumatoide, se llegó a concluir que se debe tomar en cuenta los siguientes factores como posibles causas y síntomas representativos para llegar a un posible diagnóstico de la artritis reumatoide, ver la Tabla 3.1.

Nro	Variable Lingüística	Descripción	Rango/Valor lingüístico
1	E	Edad	>30 años y <50 años
2	S	Sexo	Femenino
3	GENÉTICO	Factor Genético, las personas con antecedentes familiares de AR tienen más posibilidad de desarrollar la enfermedad, pero no significa que necesariamente vayan a padecerla.	Si, No
4	TABACO	Consumo de Tabaco	Si, No
5	ESTRÉS	Presenta estrés	Si, No
6	OBESIDAD	Presenta obesidad	Si, No
7	MA	Tiene Mala Alimentación	Si, No
8	DIA	Dolor e inflamación de las articulaciones.	Si, No
9	RA	Rigidez de las articulaciones.	Si, No
10	AAD	Articulaciones agrandadas o deformes.	Si, No

11	AC	Articulaciones Congeladas	Si, No
12	FIEBRE	Fiebre baja	Si, No
13	VASCULITIS	Inflamación de los vasos de la sangre que provoca lesiones de los nervios y úlceras en las piernas.	Si, No
14	PLEURITIS	Inflamación de las membranas que rodean los pulmones.	Si, No
15	PERICARDITIS	Inflamación del saco que rodea el corazón.	Si, No
16	ICP	Inflamación y cicatrización de los pulmones (que puede provocar dolor en el pecho, Dificultad para respirar).	Si, No
17	GLI	Ganglios linfáticos inflamados	Si, No
18	SJÖGREN	Síndrome de Sjögren (resequedad de los ojos y la boca).	Si, No
19	IO	Inflamación del ojo.	Si, No

Tabla 3. 1 Variables para determinar posibles causas de la Artritis Reumatoide

b) Variables para representar los exámenes de laboratorio para determinar posible diagnóstico de AR.

Se ha concluido que con los síntomas presentados por el paciente no es suficiente para determinar el diagnóstico de la artritis reumatoide, tampoco se tiene un solo examen de laboratorio que la confirme, por tal razón el especialista debe analizar distintos exámenes de laboratorio para tener un diagnóstico certero, con el estudio y análisis del conocimiento adquirido se llegó a la conclusión que los exámenes de laboratorio que tienen un factor importante para determinar el diagnóstico de AR se puede ver en la Tabla 3. 2.

Nro	Variable Lingüística	Descripción	Rango/Valor lingüístico
1	VSG	Velocidad de Sedimentación Globular (VSG), prueba que mide la rapidez con que los glóbulos rojos descienden en un tubo de sangre durante una hora, es un indicador de inflamación	Si, No

2	PCR	Proteína C Reactiva (PCR), detección de una proteína que se encuentra en la sangre, la cual se eleva cuando hay inflamación importante. Es un indicador de actividad inflamatoria que refleja la fase aguda de la inflamación.	Si, No
3	FR	Factor Reumatoide (FR), anticuerpo que se dirige contra el propio organismo, indica un posible diagnóstico.	Positivo si es ≥ 40 UI /ml, Negativo si es < 40 UI /ml
4	ANTI-PCC	Anticuerpos anti-PCC, prueba dirigida a la detección de anticuerpos contra el Péptido Cíclico Citrulinado.	Positivo, Negativo
5	RADIOGRAFÍA	Radiografías simples de los segmentos esqueléticos en los que se nota la presencia de artritis, muestran un cierto grado de inflamación articular e incluso la presencia de pequeñas erosiones en los huesos.	Si, No

Tabla 3. 2 Variables para representar los exámenes de laboratorio para determinar posible diagnóstico de Artritis Reumatoide

c) Variables para representar los criterios de clasificación para determinar el diagnóstico precoz de la AR.

Con el objeto de ayudar al diagnóstico y no confundir la AR con otras enfermedades que pueden provocar inflamación de las articulaciones, se emplea una lista con siete parámetros o «criterios de clasificación» relacionados con los síntomas, los datos de laboratorio y las imágenes radiológicas. Estos criterios de clasificación son de la American College of Rheumatology (ACR). Para confirmar el diagnóstico de AR basta con que un paciente reúna cuatro de ellos, ver Tabla 3.3:

Nro.	Variable Lingüística	Descripción	Rango/Valor lingüístico
1	MOLESTIAS	Permanencia de dolores y molestias por más de seis semanas.	Nada (0-3) Poco (2-6) Mucho (5-10)
2	RIGIDEZ	Rigidez matutina de más de una hora de duración.	Nada (0-3) Poco (2-6) Mucho (5-10)
3	ARTART	Artritis en al menos 3 áreas articulares de un total de 14 grupos: IFPs, MCFs, muñecas, codos, rodillas, tobillos, MTFs, con tumefacción evidente y derrame articular.	Nada (0-3) Poco (2-6) Mucho (5-10)
4	ARTMANOS	Artritis en las articulaciones de las manos (muñeca, IFPs o MCPs).	Nada (0-3) Poco (2-6) Mucho (5-10)
5	ARTSIMETRICA	Afectación inflamatoria articular simétrica.	Nada (0-3) Poco (2-6) Mucho (5-10)
6	NR	Nódulos subcutáneos sobre eminencias óseas o superficies extensoras o en superficies y extra-articulares.	Nada (0-3) Poco (2-6) Mucho (5-10)
7	CR	Presencia de cambios radiológicos típicos de la AR (como erosiones u osteoporosis en las muñecas).	Nada (0-3) Poco (2-6) Mucho (5-10)
8	FRP	Factor reumatoide positivo.	Nada (0-3) Poco (2-6) Mucho (5-10)

Tabla 3. 3 Variables para representar los criterios de clasificación para determinar el diagnóstico precoz de la Artritis Reumatoide

d) Variable para representar el resultado del diagnóstico de AR.

La variable de salida será el diagnóstico y tratamiento posible de Artritis Reumatoide, esto se puede ver a continuación en la Tabla 3.4.

Nro.	Variable lingüística	Descripción	Rango/Valor lingüístico
1	ArtritisProbable	Diagnostico Probable de Presentar Artritis Reumatoide.	noProbable (0-3) esProbable (2-6) muyProbable (5-10)

Tabla 3. 4 Variable para representar el resultado del diagnóstico de Artritis Reumatoide

3.2.3.4. DEFINICIÓN DE CONJUNTOS DIFUSO DE LAS VARIABLES LINGÜÍSTICAS

Dentro de las variables de entrada y salida existen variables que se consideran como imprecisos, es decir necesitan un tratamiento especial con lógica difusa. En éstos se encuentran los criterios de clasificación.

Cada variable representa un conjunto difuso con una escala de 0-10, y cada conjunto tiene a su vez tres subconjuntos difusos que son:

- Nada con un rango de 0-3.
- Poco con un rango de 2-6.
- Mucho con un rango de 5-10.

Por lo tanto a continuación se definen los conjuntos difusos y funciones de pertenencia para cada una de las variables lingüísticas difusa.

- a) **MOLESTIAS:** Permanencia de dolores y molestias por más de seis semanas.
Su conjunto difuso y función de pertenencia se pueden ver en la Figura 3.4 y Tabla 3.5 respectivamente.

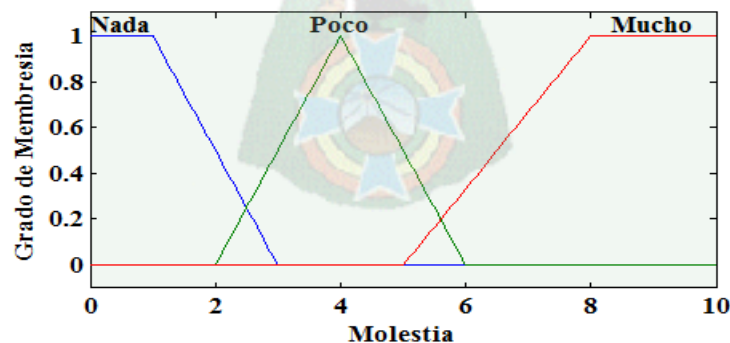


Figura 3.4 Conjuntos Difusos de la variable Molestias

$Nada(x) = \begin{cases} 1 & \text{Si } x < 1 \\ 3-x & \text{Si } 1 \leq x \leq 3 \\ 3-1 & \text{Si } x > 3 \end{cases}$	$Poco(x) = \begin{cases} 0 & \text{Si } x \leq 2 \\ x-2 & \text{Si } 2 \leq x \leq 4 \\ 4-2 & \text{Si } 4 \leq x \leq 6 \\ 6-x & \text{Si } 4 \leq x \leq 6 \\ 6-4 & \text{Si } x > 6 \\ 0 & \text{Si } x > 6 \end{cases}$	$Mucho(x) = \begin{cases} 1 & \text{Si } x > 8 \\ x-5 & \text{Si } 5 \leq x \leq 8 \\ 8-5 & \text{Si } 5 \leq x \leq 8 \\ 0 & \text{Si } x < 5 \end{cases}$
--	---	---

Tabla 3. 5 Función de pertenencia para la variable MOLESTIAS

b) **RIGIDEZ:** Rigidez matutina de más de una hora de duración.

Su conjunto difuso y función de pertenencia se pueden ver en la Figura 3.5 y Tabla 3.6 respectivamente.

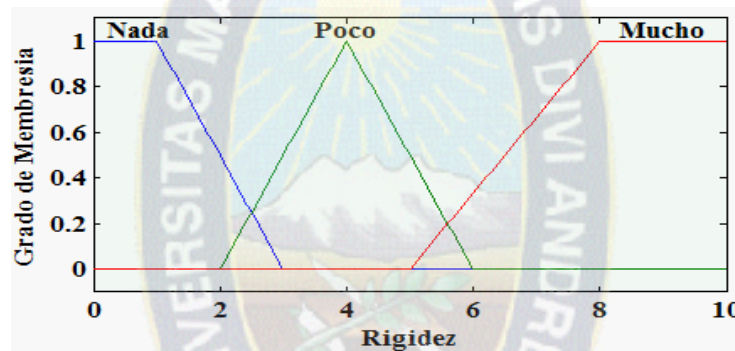


Figura 3. 5 Conjuntos Difusos de la variable RIGIDEZ

$Nada(x) = \begin{cases} 1 & \text{Si } x < 1 \\ 3-x & \text{Si } 1 \leq x \leq 3 \\ 3-1 & \text{Si } x > 3 \end{cases}$	$Poco(x) = \begin{cases} 0 & \text{Si } x \leq 2 \\ x-2 & \text{Si } 2 \leq x \leq 4 \\ 4-2 & \text{Si } 4 \leq x \leq 6 \\ 6-x & \text{Si } 4 \leq x \leq 6 \\ 6-4 & \text{Si } x > 6 \\ 0 & \text{Si } x > 6 \end{cases}$	$Mucho(x) = \begin{cases} 1 & \text{Si } x > 8 \\ x-5 & \text{Si } 5 \leq x \leq 8 \\ 8-5 & \text{Si } 5 \leq x \leq 8 \\ 0 & \text{Si } x < 5 \end{cases}$
--	---	---

Tabla 3. 6 Función de pertenencia para la variable RIGIDEZ

c) **ARTART:** Artritis en al menos 3 áreas articulares de un total de 14 grupos: IFPs, MCFs, muñecas, codos, rodillas, tobillos, MTFs, con tumefacción evidente y derrame articular.

Su conjunto difuso y función de pertenencia se pueden ver en la Figura 3.6 y Tabla 3.7 respectivamente.

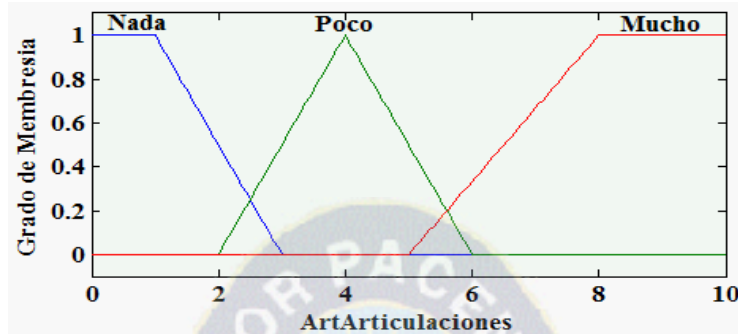


Figura 3. 6 Conjuntos Difusos de la variable ARTART

$Nada(x) = \begin{cases} 1 & \text{Si } x < 1 \\ \frac{3-x}{3-1} & \text{Si } 1 \leq x \leq 3 \\ 0 & \text{Si } x > 3 \end{cases}$	$Poco(x) = \begin{cases} 0 & \text{Si } x \leq 2 \\ \frac{x-2}{4-2} & \text{Si } 2 \leq x \leq 4 \\ \frac{6-x}{6-4} & \text{Si } 4 \leq x \leq 6 \\ 0 & \text{Si } x > 6 \end{cases}$	$Mucho(x) = \begin{cases} 0 & \text{Si } x < 5 \\ \frac{x-5}{8-5} & \text{Si } 5 \leq x \leq 8 \\ 1 & \text{Si } x > 8 \end{cases}$
--	---	---

Tabla 3. 7 Función de pertenencia para la variable ARTART

- d) **ARTMANOS:** Artritis en las articulaciones de las manos (muñeca, IFPs o MCPs).
 Su conjunto difuso y función de pertenencia se pueden ver en la Figura 3.7 y Tabla 3.8 respectivamente.

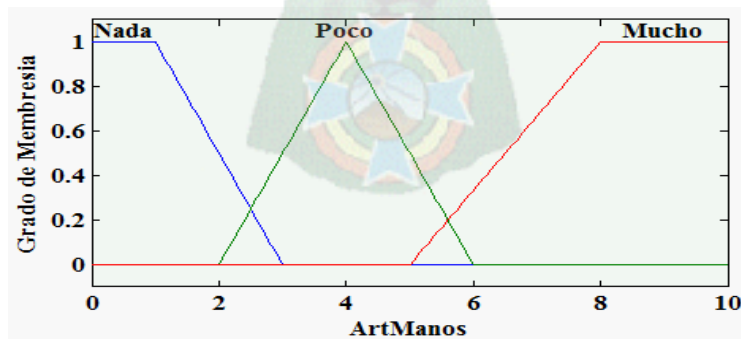


Figura 3. 7 Conjuntos Difusos de la variable ARTMANOS

$Nada(x) = \begin{cases} 1 & \text{Si } x < 1 \\ \frac{3-x}{3-1} & \text{Si } 1 \leq x \leq 3 \\ 0 & \text{Si } x > 3 \end{cases}$	$Poco(x) = \begin{cases} 0 & \text{Si } x \leq 2 \\ \frac{x-2}{4-2} & \text{Si } 2 \leq x \leq 4 \\ \frac{6-x}{6-4} & \text{Si } 4 \leq x \leq 6 \\ 0 & \text{Si } x > 6 \end{cases}$	$Mucho(x) = \begin{cases} 1 & \text{Si } x > 8 \\ \frac{x-5}{8-5} & \text{Si } 5 \leq x \leq 8 \\ 0 & \text{Si } x < 5 \end{cases}$
--	---	---

Tabla 3. 8 Función de pertenencia para la variable ARTMANOS

- e) **ARTSIMETRICA:** Afectación inflamatoria articular simétrica. Su conjunto difuso y función de pertenencia se pueden ver en la Figura 3.8 y Tabla 3.9.

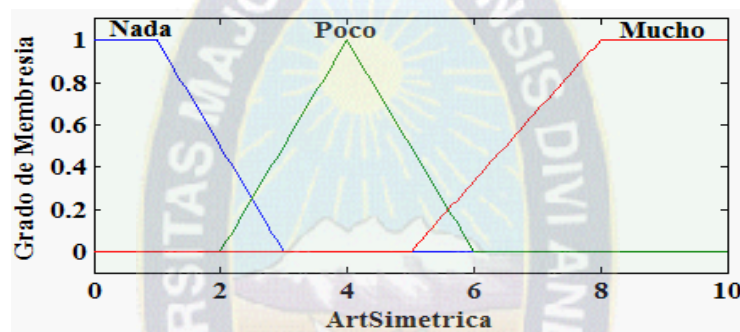


Figura 3. 8 Conjuntos Difusos de la variable ARTSIMETRICA

$Nada(x) = \begin{cases} 1 & \text{Si } x < 1 \\ \frac{3-x}{3-1} & \text{Si } 1 \leq x \leq 3 \\ 0 & \text{Si } x > 3 \end{cases}$	$Poco(x) = \begin{cases} 0 & \text{Si } x \leq 2 \\ \frac{x-2}{4-2} & \text{Si } 2 \leq x \leq 4 \\ \frac{6-x}{6-4} & \text{Si } 4 \leq x \leq 6 \\ 0 & \text{Si } x > 6 \end{cases}$	$Mucho(x) = \begin{cases} 1 & \text{Si } x > 8 \\ \frac{x-5}{8-5} & \text{Si } 5 \leq x \leq 8 \\ 0 & \text{Si } x < 5 \end{cases}$
--	---	---

Tabla 3. 9 Función de pertenencia para la variable ARTSIMETRICA

- f) **NR:** Nódulos subcutáneos sobre eminencias óseas o superficies extensoras o en superficies y extra-articulares.

Su conjunto difuso y función de pertenencia se pueden ver en la Figura 3.9 y Tabla 3.10 respectivamente.

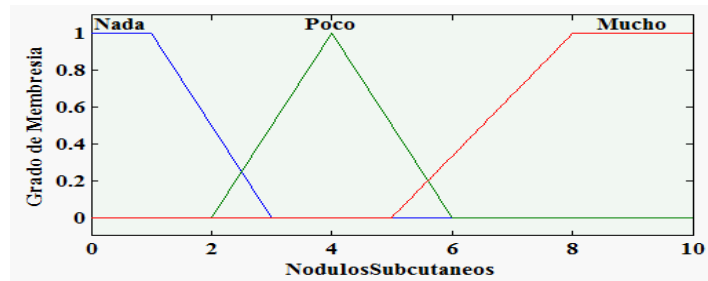


Figura 3. 9 Conjuntos Difusos de la variable NR

$Nada(x) = \begin{cases} 1 & \text{Si } x < 1 \\ \frac{3-x}{3-1} & \text{Si } 1 \leq x \leq 3 \\ 0 & \text{Si } x > 3 \end{cases}$	$Poco(x) = \begin{cases} 0 & \text{Si } x \leq 2 \\ \frac{x-2}{4-2} & \text{Si } 2 \leq x \leq 4 \\ \frac{6-x}{6-4} & \text{Si } 4 \leq x \leq 6 \\ 0 & \text{Si } x > 6 \end{cases}$	$Mucho(x) = \begin{cases} 1 & \text{Si } x > 8 \\ \frac{x-5}{8-5} & \text{Si } 5 \leq x \leq 8 \\ 0 & \text{Si } x < 5 \end{cases}$
--	---	---

Tabla 3. 10 Función de pertenencia para la variable NR

g) **CR:** Presencia de cambios radiológicos típicos de la AR (como erosiones u osteoporosis en las muñecas). Su conjunto difuso y función de pertenencia se pueden ver en la Figura 3.10 y Tabla 3.11.

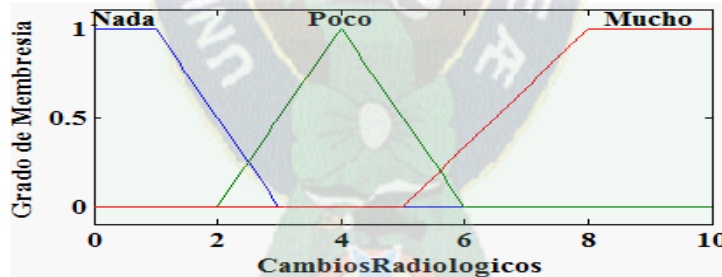


Figura 3. 10 Conjuntos Difusos de la variable CR

$Nada(x) = \begin{cases} 1 & \text{Si } x < 1 \\ \frac{3-x}{3-1} & \text{Si } 1 \leq x \leq 3 \\ 0 & \text{Si } x > 3 \end{cases}$	$Poco(x) = \begin{cases} 0 & \text{Si } x \leq 2 \\ \frac{x-2}{4-2} & \text{Si } 2 \leq x \leq 4 \\ \frac{6-x}{6-4} & \text{Si } 4 \leq x \leq 6 \\ 0 & \text{Si } x > 6 \end{cases}$	$Mucho(x) = \begin{cases} 1 & \text{Si } x > 8 \\ \frac{x-5}{8-5} & \text{Si } 5 \leq x \leq 8 \\ 0 & \text{Si } x < 5 \end{cases}$
--	---	---

Tabla 3. 11 Función de pertenencia para la variable CR

h) **FRP:** Factor Reumatoide Positivo. Su conjunto difuso y función de pertenencia se pueden ver en la Figura 3.11 y Tabla 3.12.

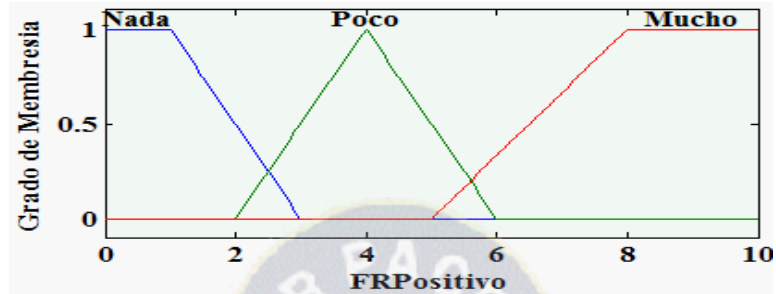


Figura 3. 11 Conjuntos Difusos de la variable FRP

$Nada(x) = \begin{cases} 1 & \text{Si } x < 1 \\ \frac{3-x}{3-1} & \text{Si } 1 \leq x \leq 3 \\ 0 & \text{Si } x > 3 \end{cases}$	$Poco(x) = \begin{cases} 0 & \text{Si } x \leq 2 \\ \frac{x-2}{4-2} & \text{Si } 2 \leq x \leq 4 \\ \frac{6-x}{6-4} & \text{Si } 4 \leq x \leq 6 \\ 0 & \text{Si } x > 6 \end{cases}$	$Mucho(x) = \begin{cases} 1 & \text{Si } x > 8 \\ \frac{x-5}{8-5} & \text{Si } 5 \leq x \leq 8 \\ 0 & \text{Si } x < 5 \end{cases}$
--	---	---

Tabla 3. 12 Función de pertenencia para la variable FRP

3.2.3.5. BASE DE HECHOS

En la base de hechos se almacenan los propios datos correspondientes a los problemas que se desea tratar con la ayuda del sistema experto. En principio se dispone únicamente de los datos que introduce el usuario. De acuerdo al análisis de algunos casos clínicos particulares se puede identificar los siguientes hechos:

Hecho 1: La paciente presenta dolor y entumecimiento de sus manos al despertar.

Hecho 2: El dolor y entumecimiento persisten hasta casi 2 horas, todos los días.

Hecho 3: La paciente presenta una mala alimentación.

Hecho 4: La paciente presenta fiebre baja inexplicable.

Hecho 5: La paciente presenta un alto consumo de tabaco.

Hecho 6: La paciente tiene antecedentes familiares con AR.

Hecho 7: La paciente presenta leve aumento de volumen en muñecas, codos, MCFs y MTFs en forma simétrica.

Hecho 8: La paciente presenta nódulos en la piel.

Hecho 9: La paciente presenta un Factor Reumatoide Positivo.

Hecho 10: La paciente presenta Anticuerpos anti-PCC positivos.

Hecho 11: La paciente presenta Velocidad de Sedimentación Globular (VSG).

Hecho 12: La paciente presenta Proteína C Reactiva (PCR).

Hecho 13: La paciente presenta Estrés.

Hecho 14: La paciente presenta inflamación de los vasos sanguíneos.

Hecho 15: La paciente presenta úlceras en las piernas.

Hecho 16: La paciente presenta lesiones en los nervios.

Hecho 17: La paciente presenta pleuritis.

Hecho 18: La paciente presenta pericarditis.

Hecho 19: La paciente presenta dolor en el pecho.

Hecho 20: La paciente presenta dificultad para respirar.

Hecho 21: La paciente presenta Ganglios linfáticos inflamados.

Hecho 22: La paciente presenta resequedad de los ojos y la boca.

Hecho 23: La paciente presenta Inflamación del ojo.

Hecho 24: La paciente presenta Artritis en cuatro áreas articulares.

Hecho 25: La paciente presenta Artritis en las manos.

Hecho 26: La paciente presenta Afectación inflamatoria articular simétrica.

Hecho 27: La paciente presenta dolor y molestias por más de seis semanas.

3.2.3.6. BASE DE REGLAS

La base de reglas es la forma más extendida de representar el conocimiento, representan la forma de razonar. Tienen la forma:

Si < condición > ***Entonces*** < acción/conclusión >

Una de las formas de representar el conocimiento son las reglas de producción, por tanto se presentan algunas reglas formadas por distintas variaciones del árbol de decisiones que se puede ver en la sección de Anexos.

❖ Desarrollo de Reglas

1. **Si** la S="Femenino" AND E>="30 años" and E<="50 años" AND Síntomas="Si" AND DIA="Si" AND RA="Si" AND AAD="Si" AND AC="Si" AND MOLESTIAS="Mucho" AND RIGIDEZ="Mucho" AND ARTMANOS="Mucho" AND ARTART="Mucho" AND ARTSIMETRICA="Mucho" **ENTONCES** "Presenta Artritis Reumatoide y debe empezar un tratamiento de antiinflamatorio, corticoides y terapias complementarias".
2. **Si** la S="Femenino" AND E>="30 años" and E<="50 años" AND Síntomas="Si" AND DIA="Si" AND RA="Si" AND AAD="Si" AND AC="Si" AND SJOGREN="Si" AND IO="Si" AND MOLESTIAS="Mucho" AND RIGIDEZ="Mucho" AND ARTMANOS="Mucho" AND ARTART="Poco" AND ARTSIMETRICA="Poco" AND NR="Poco" AND CR="Poco" AND FRP="Mucho"

- ENTONCES** “Presenta Artritis Reumatoide y debe empezar un tratamiento de antiinflamatorio, corticoides y terapias complementarias”.
3. **Si** la S=“Femenino” AND E>=“30 años” and E<=“50 años” AND Síntomas=“Si” AND DIA=“Si” AND RA=“Si” SJOGREN=“Si” AND IO=“Si” AND MOLESTIAS=“Poco” AND RIGIDEZ=“Poco” AND ARTMANOS=“Nada” AND ARTART=“Nada” AND ARTSIMETRICA=“Nada” AND NR=“Nada” AND CR=“Nada” AND FRP=“Mucho” **ENTONCES** “Podría Presentar Artritis Reumatoide, es necesario realizar otras evaluaciones y tener un tratamiento de reposo y antiinflamatorios”.
 4. **Si** la S=“Femenino” AND E>=“30 años” and E<=“50 años” AND Síntomas=“Si” AND DIA=“Si” AND MOLESTIAS=“Poco” AND RIGIDEZ=“Poco” AND ARTMANOS=“Nada” AND ARTART=“Nada” AND ARTSIMETRICA=“Nada” AND NR=“Nada” AND CR=“Nada” AND FRP=“Mucho” **ENTONCES** “No Presenta Artritis Reumatoide, es necesario realizar consultas de otras enfermedades reumatológicas y tener un tratamiento de reposo”.
 5. **Si** la S=“Femenino” AND E>=“30 años” and E<=“50 años” AND Factores de Riesgo=“Si” AND GENETICO=“Si” AND MOLESTIAS=“Mucho” AND RIGIDEZ=“Mucho” AND ARTMANOS=“Mucho” AND ARTART=“Poco” AND ARTSIMETRICA=“Poco” AND NR=“Poco” AND CR=“Poco” AND FRP=“Mucho” **ENTONCES** “Presenta Artritis Reumatoide y debe empezar un tratamiento de antiinflamatorio, corticoides y terapias complementarias”.
 6. **Si** la S=“Femenino” AND E>=“30 años” and E<=“50 años” AND Factores de Riesgo=“Si” AND TABACO=“Si” AND MOLESTIAS=“Mucho” AND RIGIDEZ=“Mucho” AND ARTMANOS=“Mucho” AND ARTART=“Poco” AND ARTSIMETRICA=“Mucho” AND NR=“Poco” AND CR=“Poco” AND FRP=“Mucho” **ENTONCES** “Presenta Artritis Reumatoide y debe empezar un tratamiento de antiinflamatorio, corticoides y terapias complementarias”.
 7. **Si** la S=“Femenino” AND E>=“30 años” and E<=“50 años” AND Factores de Riesgo=“Si” AND ESTRES=“Si” AND

MOLESTIAS="Poco" AND RIGIDEZ="Poco" AND ARTMANOS="Poco" AND ARTART="Poco" AND ARTSIMETRICA="Mucho" AND NR="Nada" AND CR="Nada" AND FRP="Mucho" **ENTONCES** "Podría Presentar Artritis Reumatoide, es necesario realizar otras evaluaciones y tener un tratamiento de reposo y antiinflamatorio".

8. **Si** la S="Femenino" AND E>="30 años" and E<="50 años" AND Factores de Riesgo="Si" AND OBESIDAD="Si" AND MOLESTIAS="Nada" AND RIGIDEZ="Nada" AND ARTMANOS="Nada" AND ARTART="Nada" AND ARTSIMETRICA="Nada" AND NR="Nada" AND CR="Nada" AND FRP="Mucho" **ENTONCES** "No Presenta Artritis Reumatoide, es necesario realizar consultas de otras enfermedades reumatológicas y tener un tratamiento de reposo".
9. **Si** la S="Femenino" AND E>="30 años" and E<="50 años" AND Pruebas de Laboratorio="Si" AND VSG="Si" AND MOLESTIAS="Mucho" AND RIGIDEZ="Poco" AND ARTMANOS="Poco" AND ARTART="Mucho" AND ARTSIMETRICA="Mucho" AND NR="Mucho" AND CR="Mucho" AND FRP="Nada" **ENTONCES** "Presenta Artritis Reumatoide y debe empezar un tratamiento de antiinflamatorio, corticoides y terapias complementarias".
10. **Si** la S="Femenino" AND E>="30 años" and E<="50 años" AND Pruebas de Laboratorio="Si" AND ANTICCP="Si" AND RADIOGRAFIA="Si" AND MOLESTIAS="Mucho" AND RIGIDEZ="Mucho" AND ARTMANOS="Mucho" AND ARTART="Mucho" AND ARTSIMETRICA="Mucho" AND NR="Nada" AND CR="Poco" AND FRP="Mucho" **ENTONCES** "Presenta Artritis Reumatoide y debe empezar un tratamiento de antiinflamatorio, corticoides y terapias complementarias".
11. **Si** la S="Femenino" AND E>="30 años" and E<="50 años" AND Pruebas de Laboratorio="Si" AND PCR="Si" AND ANTICCP="Si" AND MOLESTIAS="Poco" AND RIGIDEZ="Poco" AND ARTMANOS="Nada" AND ARTART="Nada" AND ARTSIMETRICA="Nada" AND NR="Nada" AND CR="Nada" AND FRP="Mucho"

ENTONCES “Podría Presentar Artritis Reumatoide, es necesario realizar otras evaluaciones y tener un tratamiento de reposo y antiinflamatorio”.

12. **Si** la S=“Femenino” AND E>=“30 años” and E<=“50 años” AND Pruebas de Laboratorio=“Si” AND VSG=“Si” AND RADIOGRAFIA=“Si” AND MOLESTIAS=“Nada” AND RIGIDEZ=“Poco” AND ARTMANOS=“Nada” AND ARTART=“Nada” AND ARTSIMETRICA=“Nada” AND NR=“Nada” AND CR=“Nada” AND FRP=“Nada” **ENTONCES** “No Presenta Artritis Reumatoide, es necesario realizar consultas de otras enfermedades reumatológicas y tener un tratamiento de reposo”.
13. **Si** la S=“Femenino” AND E>=“30 años” and E<=“50 años” AND Pruebas de Laboratorio=“Si” AND VSG=“Si” AND PCR=“Si” AND MOLESTIAS=“Mucho” AND RIGIDEZ=“Mucho” AND ARTMANOS=“Nada” AND ARTART=“Nada” AND ARTSIMETRICA=“Nada” AND NR=“Nada” AND CR=“Mucho” AND FRP=“Mucho” **ENTONCES** “Presenta Artritis Reumatoide y debe empezar un tratamiento de antiinflamatorio, corticoides y terapias complementarias”.
14. **Si** la S=“Femenino” AND E>=“30 años” and E<=“50 años” AND Pruebas de Laboratorio=“Si” AND PCR=“Si” AND ANTICCP=“Si” AND MOLESTIAS=“Poco” AND RIGIDEZ=“Mucho” AND ARTMANOS=“Nada” AND ARTART=“Mucho” AND ARTSIMETRICA=“Mucho” AND NR=“Nada” AND CR=“Mucho” AND FRP=“Mucho” **ENTONCES** “Presenta Artritis Reumatoide y debe empezar un tratamiento de antiinflamatorio, corticoides y terapias complementarias”.
15. **Si** la S=“Femenino” AND E>=“30 años” and E<=“50 años” AND Síntomas=“Si” AND DIA=“Si” AND MOLESTIAS=“Nada” AND RIGIDEZ=“Nada” AND ARTMANOS=“Nada” AND ARTART=“Nada” AND ARTSIMETRICA=“Nada” AND NR=“Nada” AND CR=“Nada” AND FRP=“Nada” **ENTONCES** “Presenta Artritis Reumatoide y debe empezar un tratamiento de antiinflamatorio, corticoides y terapias complementarias”.
16. **Si** la S=“Femenino” AND E>=“30 años” and E<=“50 años” AND Factores de Riesgo=“Si” AND GENETICO=“Si” AND MOLESTIAS=“Mucho” AND

RIGIDEZ="Mucho" AND ARTMANOS="Nada" AND ARTART="Nada" AND ARTSIMETRICA="Nada" AND NR="Nada" AND CR="Nada" AND FRP="Nada"
ENTONCES "Podría Presentar Artritis Reumatoide, es necesario realizar otras evaluaciones y tener un tratamiento de reposo y antiinflamatorio".

3.2.3.7. MOTOR DE INFERENCIA

El motor de inferencia consiste en la selección de los operadores matemáticos que debe emplear para los distintos cálculos internos y establecer el conjunto de inferencia.

Cada una de las variables de entrada y de salida tiene una interpretación dentro del sistema de lógica difusa en la forma de variables.

Una variable lingüística tiene entre otras cosas, una colección de atributos que pueden adquirir las variables, y cada uno de estos representado por un conjunto difuso.

En este proceso extraemos las conclusiones de la base de conocimiento, según el método de solución de problema que emite el procedimiento del experto para solucionar problemas, la conclusión a la que se llega se produce mediante la aplicación de las reglas anteriormente definidas mediante los hechos de la base de conocimiento.

3.2.4. IMPLEMENTACIÓN

La implementación del prototipo desarrollado nos permite experimentar y evaluar el trabajo propuesto, el mismo presenta una interfaz amigable al usuario y presenta una capacidad de inferencia gracias a la programación en SWI-PROLOG de las reglas y hechos que alimentan al motor de inferencia. En la Figura 3.16 se puede ver la pantalla de programación de WSI-PROLOG.

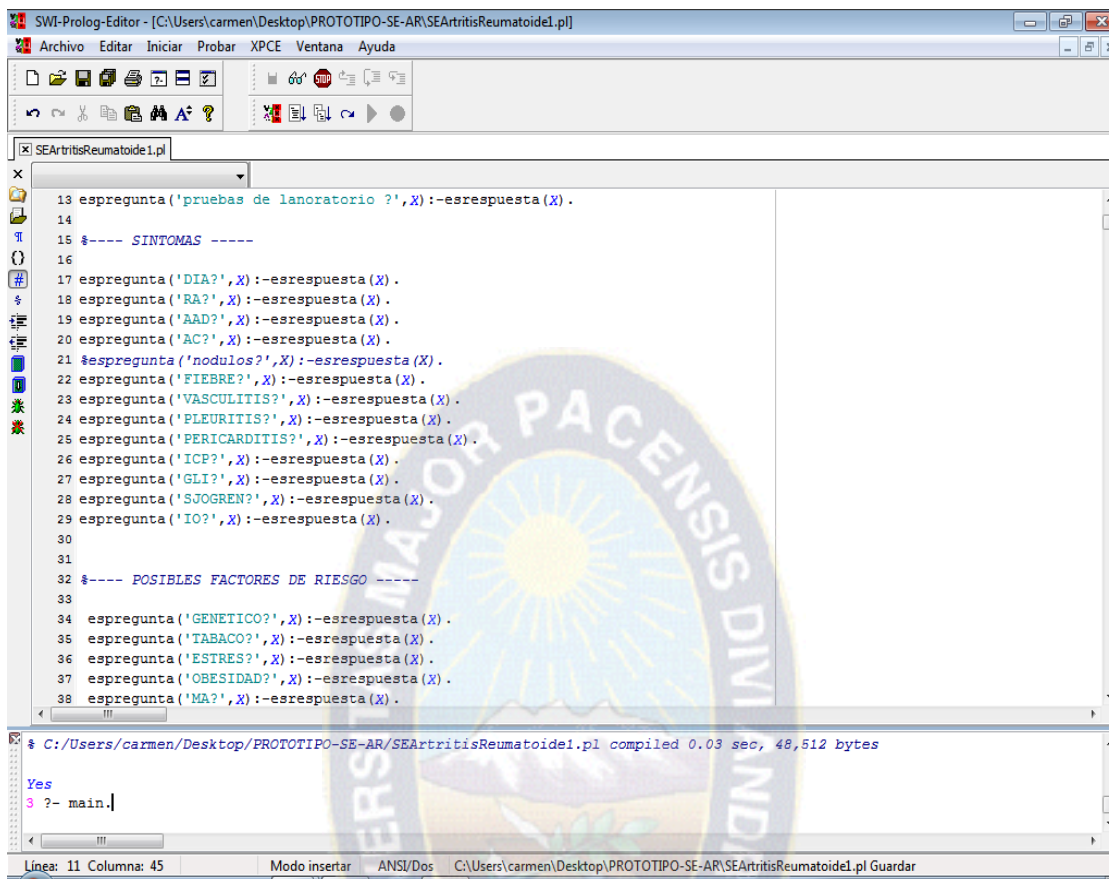


Figura 3.12 Pantalla principal de SWI-PROLOG

3.2.4.1. PROTOTIPO

Una vez terminado la programación del prototipo, para su ejecución es necesario que SWI-PROLOG éste instalado en el equipo de computación. A continuación se muestra y explica cada una de las pantallas del sistema experto para el diagnóstico y tratamiento de la artritis reumatoide.

Se inicia mostrando una pantalla principal del sistema experto, esta cuenta con una pestaña de inicio de consulta y otra de ayuda donde se puede ver una pequeña descripción del sistema experto SEDTAR, también cuenta con un botón de Información que direcciona a una pantalla de información de la enfermedad de la artritis reumatoide, ver en la Figura3.13, Figura 3.14 y Figura 3.15.

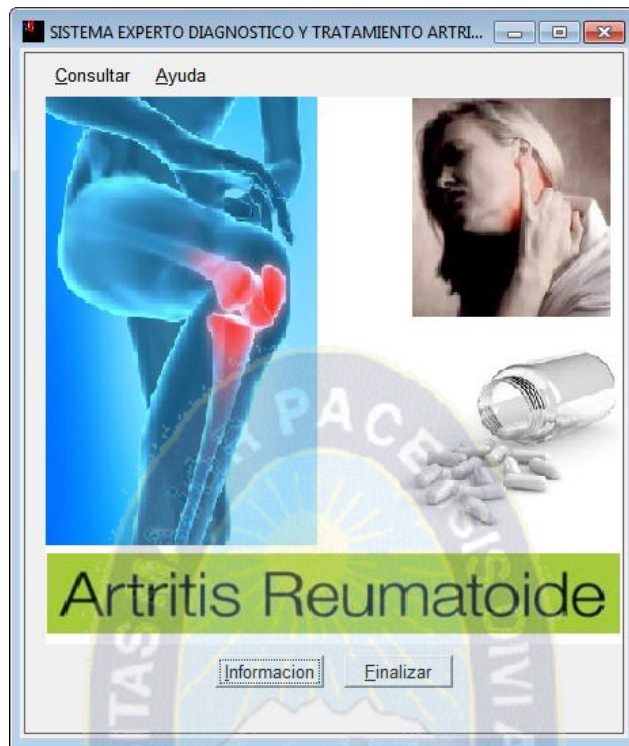


Figura 3. 13 Pantalla principal del Sistema Experto SEDTAR

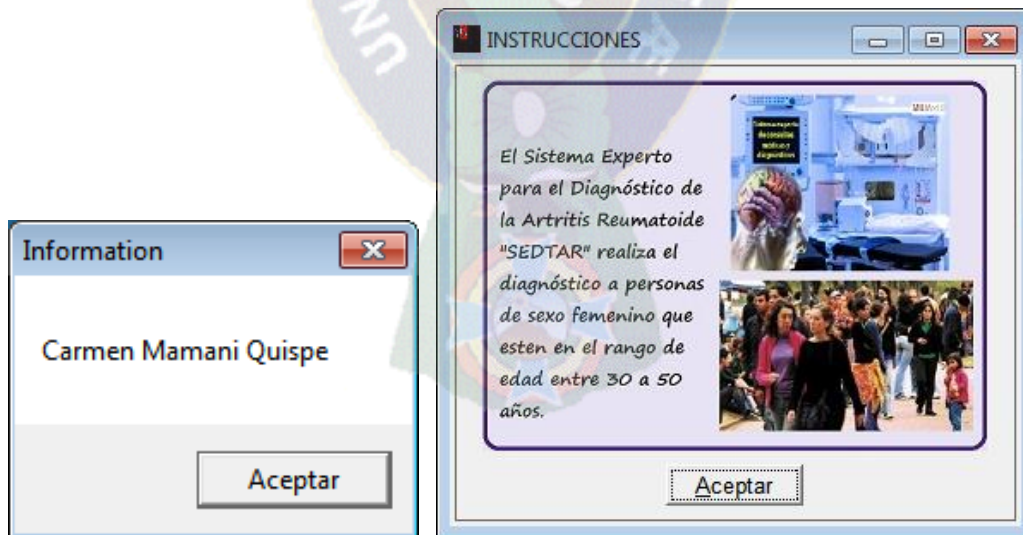


Figura 3. 14 Pantallas de Autor e Instrucciones

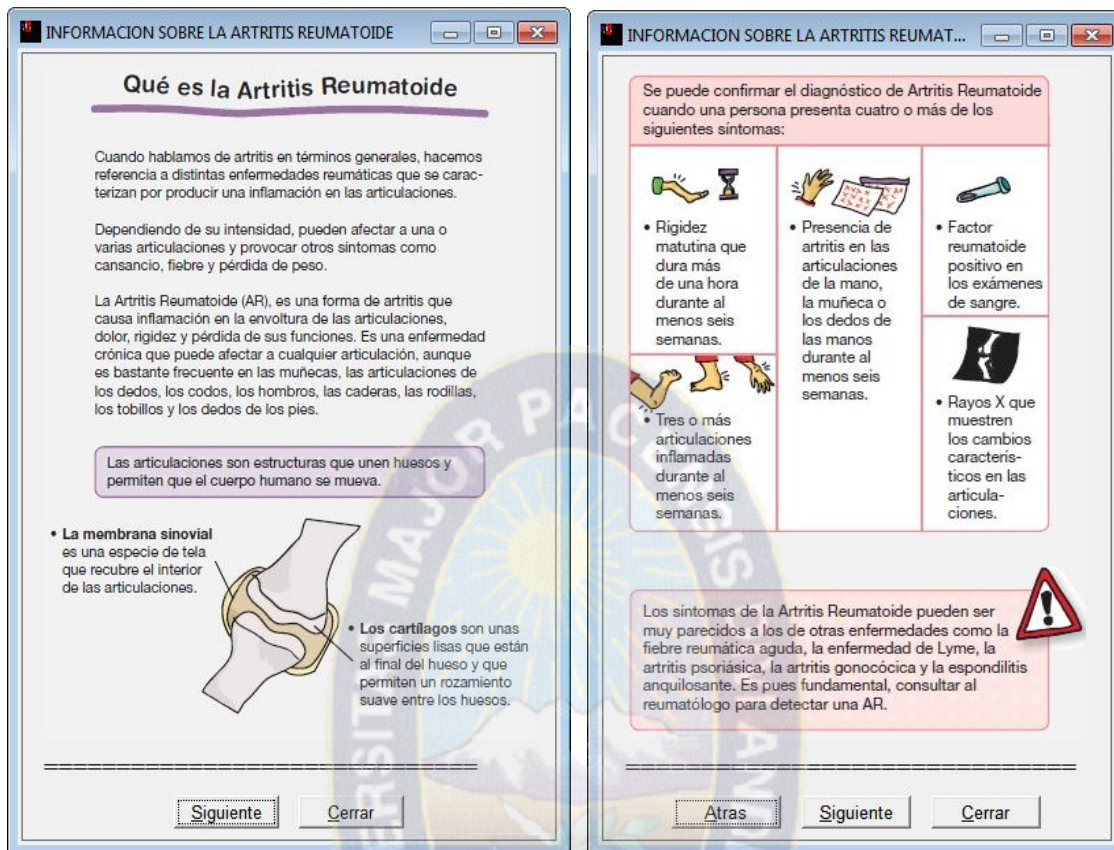


Figura 3. 15 Pantalla de Información sobre la Artritis Reumatoide

Una vez pulsado la pestaña de inicio de consulta se direcciona a otra pantalla, donde se debe introducir los datos personales de la paciente, en caso de que sea llenado incorrectamente, sale una pantalla de error. Ver Figura 3.16.

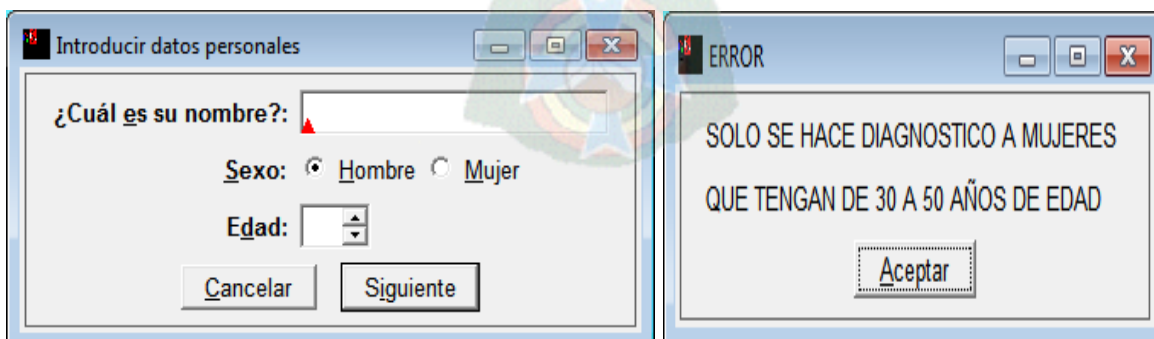


Figura 3. 16 Pantalla de Introducir datos y pantalla de Error

Una vez introducido correctamente los datos personales, se direcciona a otra pantalla que es el motivo de la consulta, donde la paciente debe escoger si la consulta es por motivos de síntomas presentados, o por factores de riesgo, o por pruebas de laboratorio realizados, se debe escoger solo una opción en caso contrario se muestra una pantalla de error, Ver Figura 3.17.

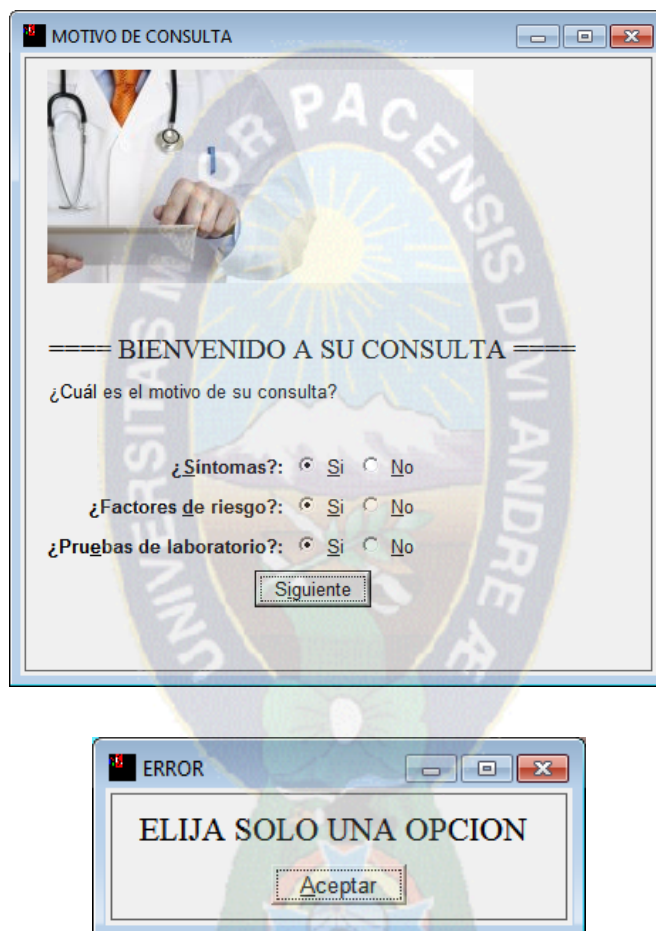


Figura 3. 17 Pantalla de selección del motivo de la consulta y de Error.

Una vez seleccionado el motivo de la consulta se debe presionar el botón siguiente, esto se direcciona a otra pantalla dependiendo del motivo seleccionado. En estas pantallas la paciente debe seleccionar todos los síntomas presentados o los posibles factores de riesgo que presenta o exámenes de laboratorio realizados. Ver Figura 3.18.

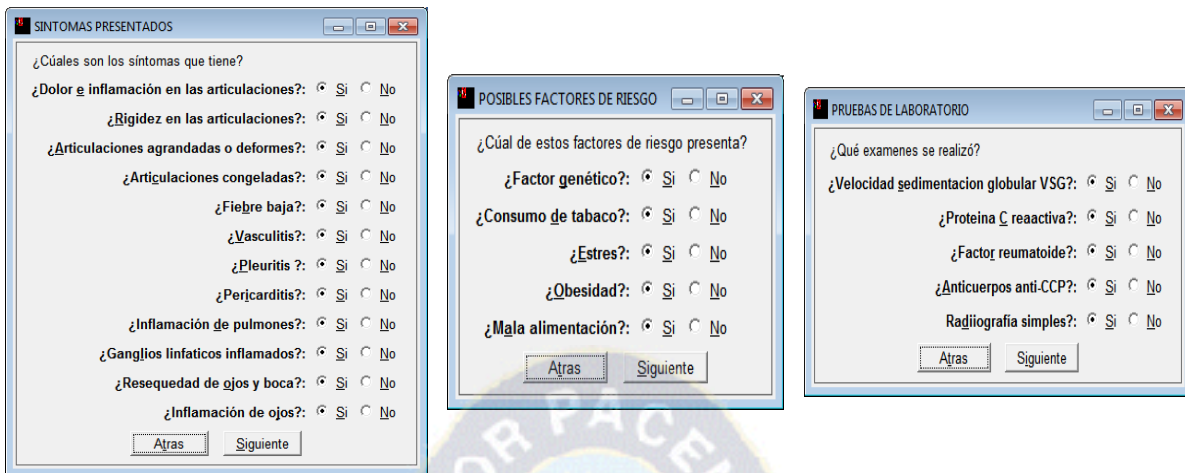


Figura 3. 18 Pantallas de síntomas presentados, posibles factores de riesgo y exámenes de laboratorio

Luego de realizar las respectivas selecciones, se debe presionar el botón siguiente que direcciona a otra pantalla que presenta la selección de los criterios de clasificación, estos son de suma importancia ya que son los criterios que definirá si el paciente presenta o no artritis reumatoide. Ver la Figura 3.19.

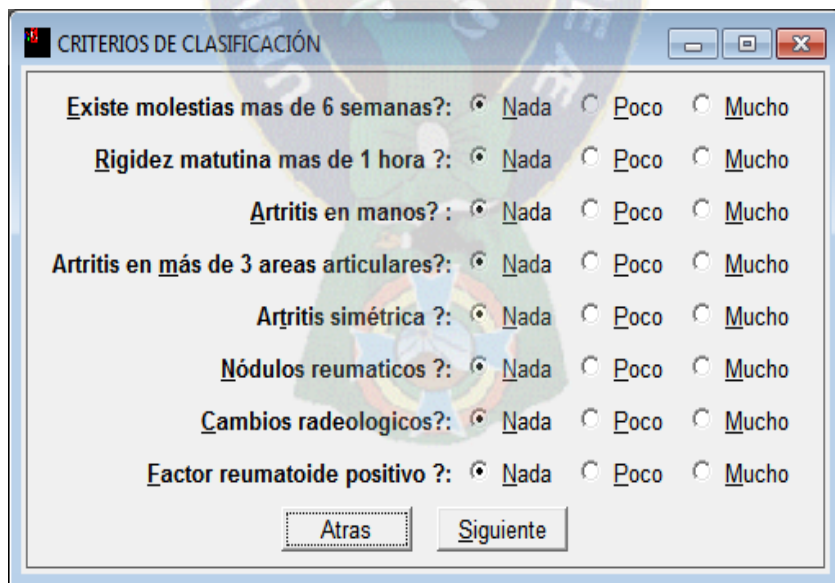


Figura 3. 19 Pantalla de los criterios de clasificación

En caso de que el sistema experto no pueda realizar un diagnóstico por falta de conocimiento se muestra una pantalla de error como se muestra en la Figura 3.20.

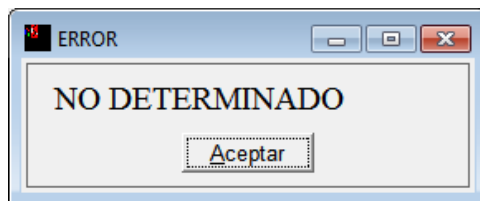


Figura 3. 20 Pantalla de Error de conocimiento no determinado.

Luego de haber seleccionado los síntomas que presenta la paciente el sistema experto muestra el diagnóstico obtenido en una pantalla. Se tienen tres posibles diagnósticos que son: Si Presenta, Podría Presentar o No Presenta Artritis Reumatoide, cada diagnostico tiene su propia pantalla de tratamiento o sugerencia, Ver Figura 3.21, Figura 3.22 y Figura 3.23 y Figura 3.24.



Figura 3. 21 Pantalla de Diagnóstico, sugerencia y tratamiento para un diagnóstico de no presenta Artritis Reumatoide

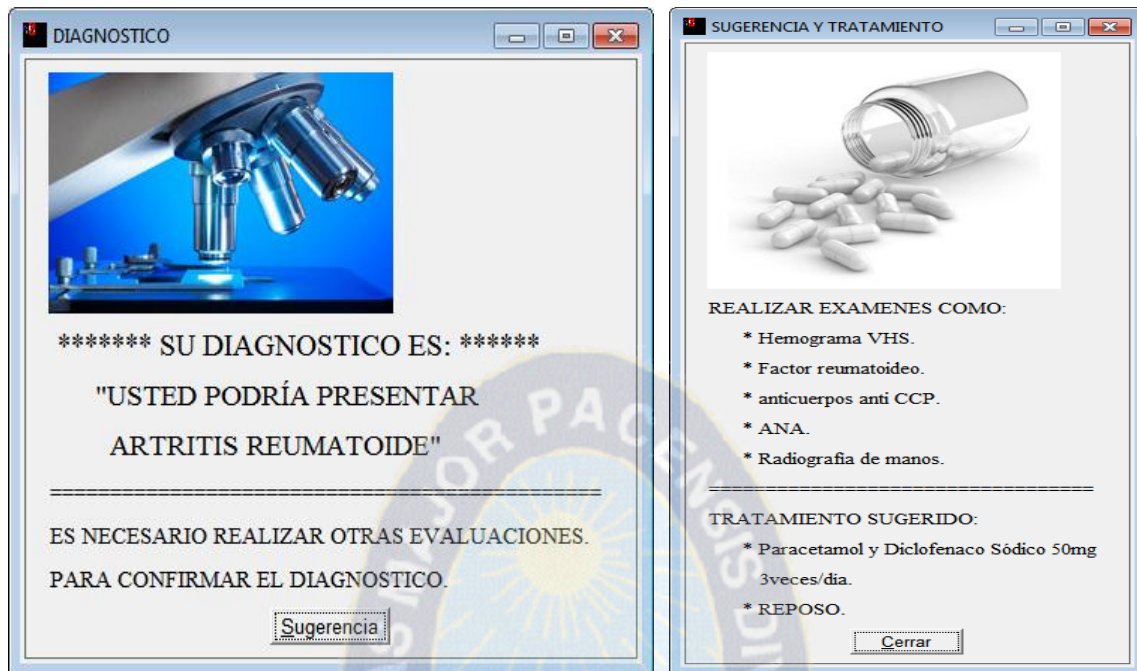


Figura 3. 22 Pantalla de Diagnóstico, sugerencia y tratamiento para un diagnóstico de podría presentar Artritis Reumatoide



Figura 3. 23 Pantalla de Diagnóstico y tratamiento para un diagnóstico de si presenta Artritis Reumatoide

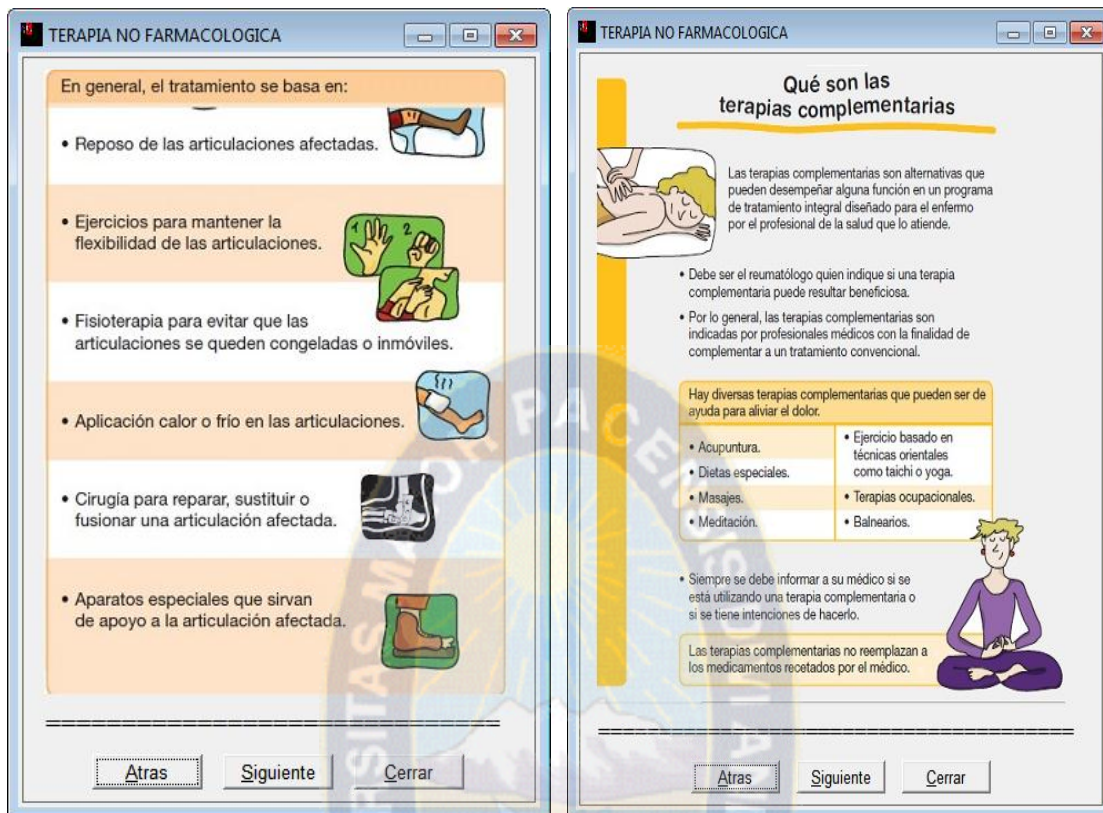


Figura 3. 24 Pantalla de tratamiento no farmacológico para un diagnóstico de si presenta Artritis Reumatoide

3.2.5. TESTEO

Una vez construido y programado el sistema experto se realizan las respectivas pruebas de funcionamiento, se muestran capturas de las pantallas de ejecución del sistema experto SEDTAR, demostrando como se introducen los datos de entrada, la secuencia de preguntas para determinar el diagnóstico precoz de AR y por último se muestra el resultado del diagnóstico final de si un paciente presenta o no artritis reumatoide.

Se usara un ejemplo para realizar la respectiva prueba del sistema experto de diagnóstico y tratamiento de la artritis reumatoide.

EJEMPLO: “SI Una mujer de 45 años de edad presenta dolor e inflamación articular, siente mucha rigidez matutina, presenta mucha artritis en las articulaciones así también en las manos, además tiene mucha artritis simétrica y presenta mucha molestia con estos dolores, no presenta nódulos reumatoides, presenta pocos cambios reumatológicos en sus radiografías y es cero positiva es decir presenta un elevado factor reumatoide. **ENTONCES** Presenta Artritis Reumatoide y debe empezar un tratamiento de antiinflamatorio, corticoides y llevar un nuevo estilo de vida.”

PRUEBA: A continuación se muestra las capturas de pantallas del diagnóstico para el ejemplo planteado anteriormente, ver las Figuras 3.25, Figuras 3.26, Figuras 3.27, Figuras 3.28, Figuras 3.29, Figuras 3.30 y Figuras 3.31.

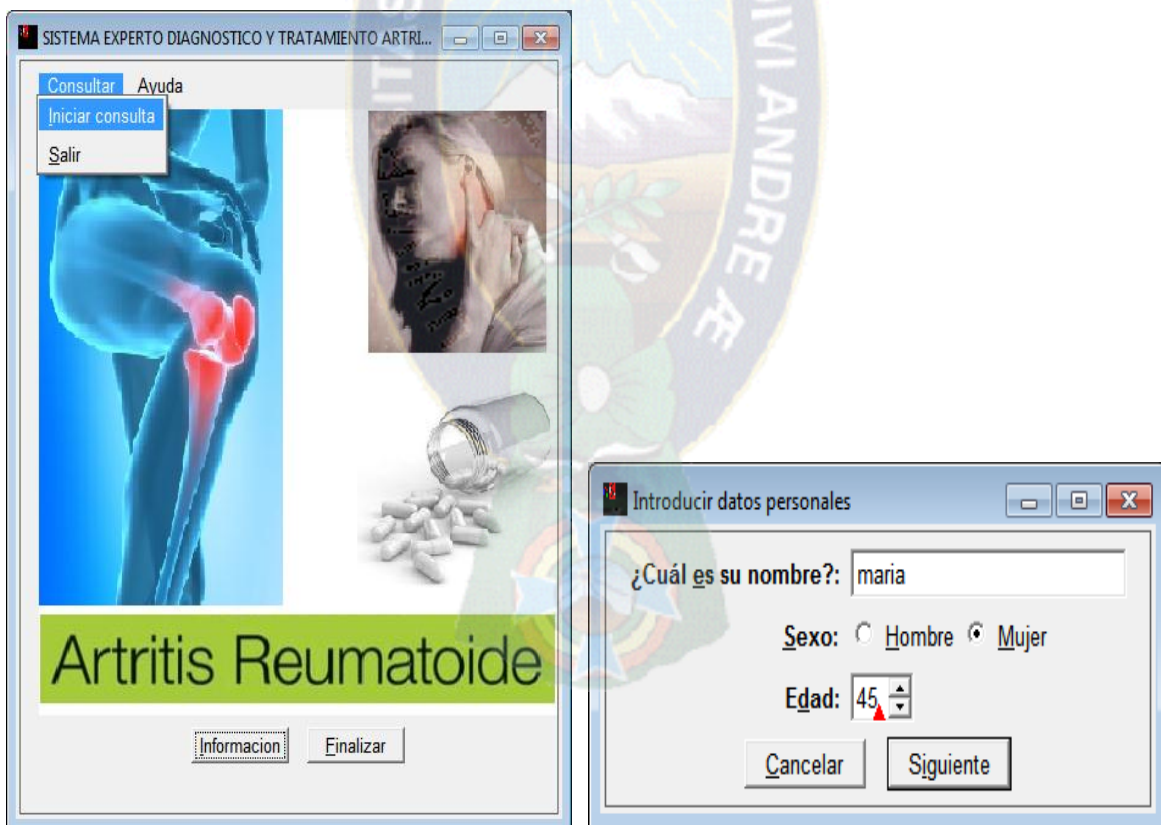


Figura 3. 25 Pantallas de inicio de consulta y pantalla de Introducir datos Personales

MOTIVO DE CONSULTA

BIENVENIDO A SU CONSULTA

¿Cuál es el motivo de su consulta?

¿Síntomas?: Sí No

¿Factores de riesgo?: Sí No

¿Pruebas de laboratorio?: Sí No

SINTOMAS PRESENTADOS

¿Cuáles son los síntomas que tiene?

¿Dolor e inflamación en las articulaciones?: Sí No

¿Rigidez en las articulaciones?: Sí No

¿Articulaciones agrandadas o deformes?: Sí No

¿Articulaciones congeladas?: Sí No

¿Fiebre baja?: Sí No

¿Vasculitis?: Sí No

¿Pleuritis?: Sí No

¿Pericarditis?: Sí No

¿Inflamación de pulmones?: Sí No

¿Ganglios linfáticos inflamados?: Sí No

¿Resequedad de ojos y boca?: Sí No

¿Inflamación de ojos?: Sí No

Figura 3. 26 Pantallas motivo de consulta y selección de Síntomas Presentados

CRITERIOS DE CLASIFICACIÓN

Existe molestias mas de 6 semanas?: Nada Poco Mucho

Rigidez matutina mas de 1 hora?: Nada Poco Mucho

Artritis en manos?: Nada Poco Mucho

Artritis en más de 3 areas articulares?: Nada Poco Mucho

Artritis simétrica?: Nada Poco Mucho

Nódulos reumaticos?: Nada Poco Mucho

Cambios radeologicos?: Nada Poco Mucho

Factor reumatoide positivo?: Nada Poco Mucho

Figura 3. 27 Pantallas de selección de criterios de clasificación



Figura 3. 28 Diagnostico Final del sistema experto SEDTAR.

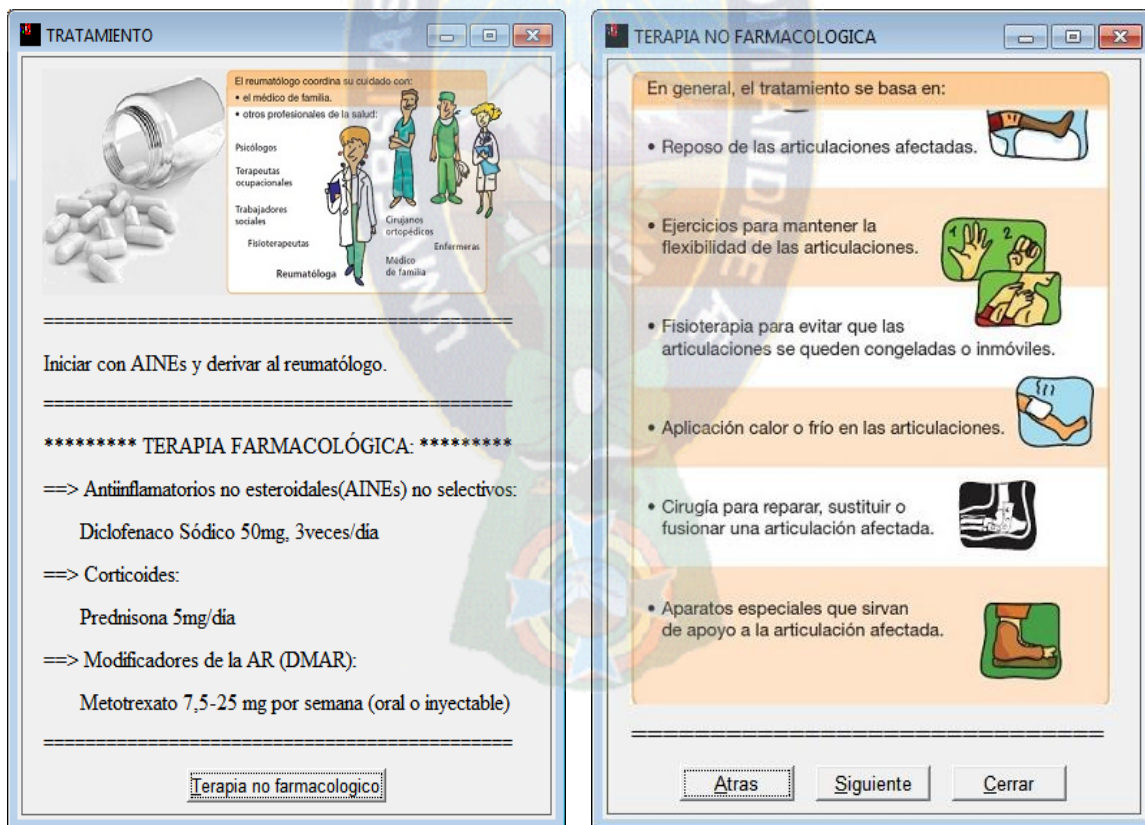


Figura 3. 29 Pantallas de Tratamiento no farmacológico para la Artritis Reumatoide



Figura 3. 30 Pantallas de consejos para Tratamiento no farmacológico

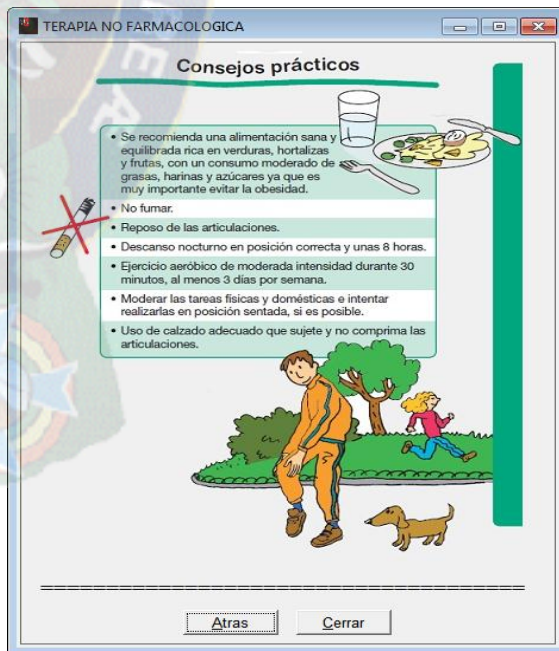


Figura 3. 31 Pantallas de Terapias Complementarias

3.2.6. REVISIÓN DEL PROTOTIPO

La etapa de revisión del prototipo se hizo durante todo el proceso de construcción del sistema experto, modificando y puliendo en cada etapa la estructura del sistema experto SEDTAR para así obtener un resultado confiable y un diagnóstico eficiente.



CAPÍTULO IV PRUEBA DE HIPÓTESIS

4.1. PRUEBA DE HIPÓTESIS

En éste capítulo se realizara la evaluación respectiva de la hipótesis planteada al inicio del presente trabajo que diagnostica si un paciente tiene o no artritis reumatoide.

Recordemos que la hipótesis planteada es:

Hi: La Lógica difusa permite al Sistema Experto diagnosticar la enfermedad de artritis reumatoide con una confiabilidad del 90%.

De la cual se identificó la variable independiente, dependiente y la interviniente, que son:

Variable Independiente: El sistema experto para el diagnóstico de la artritis reumatoide.

Variable Dependiente: El diagnóstico de la enfermedad de artritis con una confiabilidad del 90%

Variable Interviniente: La lógica difusa

4.1.1 CONTRASTE DE RACHAS DE WALD-WOLFOWITZ

Supongamos una población cuya función de distribución es desconocida y sea X la variable aleatoria asociada a esa población, la cual solo puede tomar dos posibles valores como ejemplo, éxito (A) y fracasos (B) o bien sexo Femenino (F) y masculino (M) etc.

H_0 : La muestra es aleatoria.

H_1 : LA muestra no es aleatoria.

En general, sea una muestra de tamaño n en la que han aparecido n_1 elementos de tipo A y n_2 elementos de tipo B, siendo $n_1 + n_2 = n$ sea la variable aleatoria:

R : número total de rachas en la muestra.

Para muestra grande y bajo la hipótesis H_0 es decir, para muestras aleatorias la distribución de probabilidad de R tiende hacia la normal a medida que n_1 y n_2 se van haciendo grandes. Esta aproximación es bastante buena si $n_1 > 10$ y $n_2 > 10$; de tal manera que:

$R \rightarrow N(E[R], \sqrt{Var[R]})$	
Esperanza	$E[R] = \frac{2n_1n_2}{n_1+n_2} + 1$
Varianza	$Var[R] = \frac{2n_1n_2(2n_1n_2 - n_1 - n_2)}{(n_1 + n_2)^2(n_1 + n_2 - 1)}$

Por consiguiente para muestras grandes se verifica:

$$Z = \frac{R - E[R]}{\sqrt{Var[R]}}$$

Y para una muestra concreta el valor del estadístico Z será:

$$Z_{exp} = \frac{R - \left(\frac{2n_1n_2}{n} + 1\right)}{\sqrt{\frac{2n_1n_2(2n_1n_2 - n)}{n^2(n-1)}}} + 1$$

En donde R es el número total de rachas observadas en la muestra.

La región de aceptación para la hipótesis nula será:

$$-Z_{\alpha/2} < Z_{\text{exp}} < Z_{\alpha/2}$$

El valor de $Z_{\alpha/2}$ se obtiene de la tabla de la $N(0,1)$, de manera que:

$$P(Z_1 \leq -Z_{\alpha/2}) = p(Z_1 \geq Z_{\alpha/2}) = \frac{\alpha}{2}$$

4.1.2 DESARROLLO DE LA PRUEBA DE HIPÓTESIS

Para el desarrollo de la prueba de hipótesis por medio de contraste de rachas de Wald-Wolfowitz se siguen los siguientes pasos:

Paso 1: Planteamiento de la nula.

H_0 : La Lógica difusa permite al Sistema Experto diagnosticar la enfermedad de artritis reumatoide con una confiabilidad del 90%.

Paso 2: Selección del nivel de confianza.

El nivel de confianza o significancia que se elige para 90% es $\alpha = 0.05$ elegida de la Tabla Normal.

Paso 3: Identificación del estadístico de prueba.

Para este caso se utiliza la prueba de rachas o Wald-Wolfowitz utiliza los signos de los residuos y sus variaciones de negativos y positivos o viceversa. Una racha vendrá constituida por la sucesión de signos iguales.

Paso 4: Formulación de la regla de decisión

Para la prueba se toman 12 casos de diagnóstico de la artritis reumatoide, realizando la comparación del diagnóstico entre el médico y el sistema experto. A continuación se muestra los resultados de la comparación.

Nro. caso	Sexo Edad	Diagnóstico Medico	Diagnóstico Sistema Experto SEDTAR	Aceptación Por Rachas
1	Mujer 31 años	Presenta Artritis Reumatoide.	Presenta Artritis Reumatoide.	+
2	Mujer 40 años	Presenta Artritis Reumatoide.	Presenta Artritis Reumatoide.	+
3	Mujer 35 años	Podría tener artritis reumatoide.	No presenta artritis reumatoide.	-
4	Mujer 33 años	Podría tener artritis reumatoide.	Podría tener artritis reumatoide.	+
5	Mujer 48 años	Podría tener artritis reumatoide.	No determinado	-
6	Mujer 38 años	Podría tener artritis reumatoide.	No determinado	-
7	Mujer 35 años	No presenta artritis.	No presenta artritis.	-
8	Mujer 30 años	Presenta Artritis Reumatoide.	Presenta Artritis Reumatoide.	+
9	Mujer 54 años.	Presenta Artritis Reumatoide.	Presenta Artritis Reumatoide.	+
10	Mujer 32 años.	Presenta Artritis Reumatoide.	Presenta Artritis Reumatoide.	+
11	Mujer 41 años	Presenta Artritis Reumatoide.	Podría tener artritis reumatoide.	-
12	Mujer 45 años.	Presenta Artritis Reumatoide.	Presenta Artritis Reumatoide.	+

Tabla 4. 1 Comparación de diagnóstico del médico y el sistema experto.

Se tienen los siguientes resultados:

(+ +) (-) (+) (- - -) (+ + +) (-) (+)

Dónde:

- (-) Representa los casos en los que no coincide el diagnóstico proporcionado por el médico y el SEDTAR.

- (+) Representa los casos en los que coincide el diagnóstico proporcionado por el médico y el SEDTAR.

Siendo una racha construida por la sucesión de signos iguales se tiene que:

Total de Rachas expuestas	$R_{exp} = 7$
Número total de observaciones.	$N = 12$
Numero de residuos positivos.	$n_1 = 7$
Numero de residuos negativos.	$n_2 = 5$

Reemplazando datos para calcular la Esperanza y Varianza se tiene:

Esperanza	$E[R] = \frac{2n_1n_2}{n_1 + n_2} + 1 = \frac{2 * 7 * 5}{7 + 5} + 1 = \frac{70}{12} + 1 = \mathbf{6.83}$
Varianza	$Var[R] = \frac{2n_1n_2(2n_1n_2 - n_1 - n_2)}{(n_1 + n_2)^2(n_1 + n_2 - 1)} = \frac{2 * 7 * 5(2 * 7 * 5 - 7 - 5)}{(7 + 5)^2(7 + 5 - 1)}$ $= \frac{4060}{1584} = \mathbf{2.56}$

Paso 5: Toma de decisión

Y para una muestra concreta el valor del estadístico Z_{exp} reemplazando datos se tiene:

$$Z_{exp} = \frac{R - E[R]}{\sqrt{Var[R]}} + 1 = \frac{7 - 6.83}{\sqrt{2.56}} + 1 = \frac{0.17}{\sqrt{2.56}} + 1 = \mathbf{1.106}$$

Para calcular la región de aceptación de la hipótesis es necesario hallar el valor de $Z_{\alpha/2}$ que se obtiene de la tabla de la N (0,1), de manera que cumpla:

$$P(Z_1 \leq -Z_{\alpha/2}) = p(Z_1 \geq Z_{\alpha/2}) = \frac{\alpha}{2}$$

$P(Z_1 \leq -Z_{\alpha/2}) = \frac{\alpha}{2}$	$P(Z_1 \geq Z_{\alpha/2}) = \frac{\alpha}{2}$
$1 - P(Z_1 < Z_{\alpha/2}) = \frac{\alpha}{2}$	$P(Z_1 \geq Z_{\alpha/2}) = 0.025$
$P(Z_1 < Z_{\alpha/2}) = 1 - \frac{\alpha}{2}$	⇓
$P(Z_1 < Z_{\alpha/2}) = 1 - 0.025$	$Z_{\alpha/2} = 1.96$
$P(Z_1 < Z_{\alpha/2}) = 0.975$	
⇓	
$Z_{\alpha/2} = 1.96$	

Por tanto la región de aceptación para la hipótesis nula es:

$$-Z_{\alpha/2} < Z_{\text{exp}} < Z_{\alpha/2}$$

$$-1.96 < 1.106 < 1.96$$

Se puede ver que el estadístico $Z_{\text{exp}} = 1.106$ cae en el intervalo de aceptación de la hipótesis, por lo tanto se puede afirmar que H_0 : La Lógica difusa permite al Sistema Experto diagnosticar la enfermedad de artritis reumatoide con una confiabilidad del 90%.

Lo que muestra que la tesis es un trabajo válido, además muestra que los datos de la muestra son aleatorios.

CAPÍTULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- ✚ Los sistemas expertos son de mucha utilidad en la vida real, y apoyan en gran manera a los sistemas de soporte de decisión, ya que permiten tomar decisiones basadas en la experiencia humana de algún especialista en determinada área.
- ✚ El período de realización de un sistema experto es largo, no por el desarrollo de la aplicación, sino por el proceso de adquisición de conocimientos, ya que es un conocimiento especializado, con el cual el ingeniero del conocimiento no se encuentra familiarizado. Adicionalmente, en el área de la medicina modelar el conocimiento del cuerpo humano no es una tarea sencilla.
- ✚ El diagnóstico de la artritis reumatoide es un proceso delicado y complicado de detectar, pues pueden existir confusiones con otros tipos de artritis existentes tales como la osteoporosis, el lupus, etc. Además que la artritis reumatoide es una enfermedad inmunológica y no existe una prueba específica que detecte o confirme directamente su diagnóstico.
- ✚ Con la demostración de la prueba de hipótesis podemos concluir que el sistema experto para el diagnóstico y tratamiento de artritis reumatoide, utilizando lógica difusa permite brindar un diagnóstico confiable del 90%.

Adicionalmente se ha dado respuesta a los objetivos específicos planteados en el punto 1.4.2. Dentro de los mismos se incluía:

- ✚ Se realizó el diseño de sistema experto para el diagnóstico de la artritis reumatoide combinando las distintas etapas de construcción de la metodología Buchanan con las distintas fases de construcción de un sistema experto con una arquitectura clásica, además de aplicar la lógica difusa o borrosa en la parte de formalización del conocimiento, definiendo conjuntos y funciones de pertenencia difusos para algunos de los síntomas presentado en la artritis reumatoide.

- ✚ La lógica difusa es un paradigma de la inteligencia artificial que permite manejar de manera adecuada el lenguaje natural y ambiguo al momento de adquirir el conocimiento.
- ✚ La metodología Buchanan con sus distintas fases o etapas fue fundamental en la realización de este trabajo de investigación, ya que sin una metodología que ayude a tener un orden de realización difícilmente se podría lograr con éxito la construcción de un sistema experto.
- ✚ Al desarrollar el prototipo del sistema experto se puede concluir que este ayudara al incremento de la atención en las consultas médicas y permitir ahorrar recursos a las pacientes, al eliminar el trasladarse a otras ciudades para realizarse el diagnóstico.
- ✚ Se realizó un estudio de los posibles factores de riesgo y posibles causas que puedan generar la enfermedad, así también los síntomas iniciales que un paciente tiene antes de confirmar el diagnóstico y el análisis de los criterios de clasificación definidos por la American College of Rheumatology (ACR), además de recomendar o brindar el tratamiento adecuado para calmar el dolor y reducir sus posibles consecuencias o complicaciones.
- ✚ Al momento de diseñar el presente trabajo de investigación se pudo realizar el estudio de las consecuencias y daños que puede ocasionar la artritis reumatoide si no se trata y controla a tiempo.
- ✚ Se implementó el prototipo del sistema experto con la ayuda del lenguaje de programación SWI-Prolog.

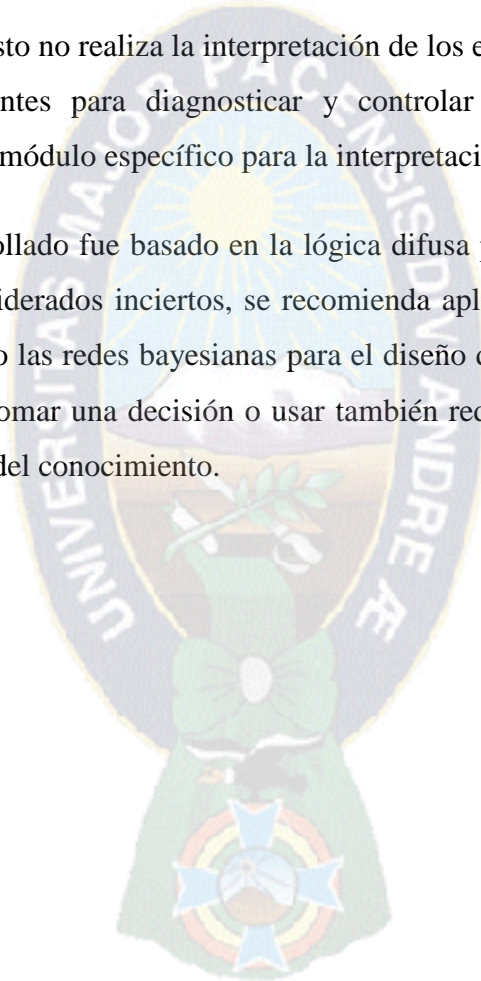
5.2. RECOMENDACIONES

En el desarrollo del trabajo se consideró solamente a mujeres que tengan edad dentro del rango de 30 y 50 años. Es por eso que se recomienda realizar un análisis para considerar también a pacientes del sexo masculino y a mujeres de todas las edades, ya que la artritis reumatoide puede aparecer a cualquier edad, para así poder implementar un sistema experto más completo.

Como la artritis reumatoide es una más de las diversas enfermedades reumatológicas, además que existen otras propuestas de sistemas expertos como por ejemplo el diagnóstico de la osteoporosis y el lupus, se recomienda la unión de sus conocimientos para poder así realizar un sistema experto más grande aun, que abarque más conocimiento, para así poder ayudar a definir de una manera más específica a diagnosticar una enfermedad reumatológica y no cometer errores de confundir los síntomas.

El sistema experto propuesto no realiza la interpretación de los exámenes de laboratorio, los cuales son muy importantes para diagnosticar y controlar la artritis reumatoide, se recomienda incorporar un módulo específico para la interpretación de dichos exámenes.

El sistema experto desarrollado fue basado en la lógica difusa para el tratamiento especial de algunos síntomas considerados inciertos, se recomienda aplicar otros paradigmas de la Inteligencia artificial como las redes bayesianas para el diseño de un árbol de decisión más eficiente al momento de tomar una decisión o usar también redes neuronales para realizar una mejor representación del conocimiento.



BIBLIOGRAFÍA

1. CONDE, L. R. 2010. Sistema Experto para el Diagnóstico y Tratamiento del Quiste Ovárico. La Paz, Universidad Mayor de San Andres, Facultad de Ciencias Puras y Naturales. 86p.
2. DONES, L. M. Febrero de 2005. Sistema Experto para el Diagnóstico de Transtornos Depresivos. Recuperado el 15 de Junio de 2013
3. DROUAILLET, R. P. Agosto de 2008. Uso de los Sistemas Expertos para la toma de las Decisiones. [en línea] <<http://cdigital.uv.mx/bitstream/123456789/28498/1/Drouaillet%20Pumarino.pdf>> [consulta: 28 de Mayo de 2013].
4. GARCÍA MARTÍNEZ, R., & BRITOS, P. V. 2004. Primera ed. Ingeniería de Sistemas Expertos. Nueva Librería S.R.L.
5. GIARRATANO, J. 2001. (Tercera ed.). Sistemas Expertos Principios y programacion. International Thomson Editores.
6. HERNÁNDEZ, S. R., FERNÁNDEZ, C. C., & BAPTISTA, L. P. 2010. (Quinta ed.) Metodología de la Investigación. McGRAW-HILL.
7. JÚAREZ, I. 2012. La artritis crece en personas de la tercera edad del oriente. PáginaSiete. La Paz, Bolivia, 25 de Agosto de 2012.
8. LUCHAU, V. 2013. Sistemas Expertos Educativos En Medicina. [en línea] <http://www.colombiaaprende.edu.co/html/mediateca/1607/articles-126409_archivo.pdf>, [Consulta: 10 de Juno de 2013].
9. MAMANI, C. R. 2012. Sistema Basado en el Conocimiento para el Diagnóstico de Osteoporosis en mujeres de 35 a 45 años. La Paz. Universidad Mayor de San Andres, Facultad de Ciencias Puras y Naturales.
10. NINA, H. G. 2009. Sisetma Experto para el Diagnóstico de la Depresión. La Paz, Bolivia. Universidad Mayor de San Andres, Facultad de Ciencias Puras y Naturales.
11. PEÑA, K., PÉREZ, M., & RONDÓN, E. 2 de Julio de 2009. Sistema experto para la recomendación de modelos instruccionales: una propuesta para su desarrollo. [en línea] <<http://www.google.com.bo/url?sa=t&rct=j&q=fases%20de%20la%20metodologia%20buchanan%20para%20desarrollar%20un%20sistema%20experto&source=web&cd=10&ved=0CF0QFjAJ&url=http%3A%2F%2Fsanmartinbaq.edu.co%2Fprevista>>

s%2Findex.php%2Fgd%2Farticle%2Fdownload%2F53%2F13>, [Consulta: 20 de Junio de 2013].

12. QUINTANAR, T. L. 2007. Sistema experto y sus aplicaciones. [en línea] <<http://www.uaeh.edu.mx/docencia/Tesis/icbi/licenciatura/documentos/Sistemas%20expertos%20y%20sus%20aplicaciones.pdf>>, [consulta: 20 de Junio de 2013].
13. QUISPE, A. E. 2006. Sistema Experto para el Diagnóstico de Cáncer de Colon. La Paz-Bolivia. Universidad Mayor de San Andres, Facultad de Ciencias Puras y Naturales.
14. ROLSTON, D. W. 1995. Principios de Inteligencia Artificial y Sistemas Expertos. McGRAW-HILL.
15. RUIZ, M. E. (2004). Sistemas Expertos Para Realización De Diagnóstico. [en línea] <http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/publicaciones/risi/n1_2004/a09.pdf>, [consulta: 10 de Junio de 2013].
16. SANTAELLA, F. G. (s.f.). El Método Científico. [en línea] <http://gers.uprm.edu/pdfs/metodo_cientifico.pdf>, [consulta:10 de Junio de 2013].
17. SOLIZ, L. E. 2008. Sistema Experto de Diagnóstico de Problemas de Aprendizaje de Niños en Matemáticas. La Paz, Bolivia. Universidad Mayor de San Andres, Facultad de Ciencias Puras y Naturales.

GLOSARIO

Enfoque cuantitativo: Usa la recolección de datos para probar hipótesis, con base en la medición numérica y el análisis estadístico, para establecer patrones de comportamiento y probar teorías.

Investigación descriptiva: Busca especificar propiedades, características y rasgos importantes de cualquier fenómeno que se analice. Describe tendencias de un grupo o población.

Investigación explicativa: Pretende establecer las causas de los eventos, sucesos o fenómenos que se estudian.

Hipótesis Explicaciones tentativas del fenómeno investigado que se formulan como proposiciones.

Definición operacional: Conjunto de procedimientos y actividades que se desarrollan para medir una variable.

Sistema Experto: Sistemas informáticos que forman parte de la Inteligencia Artificial, éstos simulan el proceso de aprendizaje, memorización, razonamiento, comunicación y de acción en consecuencia de un experto humano en cualquier rama de la ciencia.

Lenguaje: Es un traductor de comandos escritos con una sintaxis específica. Un lenguaje para sistemas expertos también proporcionara un mecanismo de inferencia que ejecute las instrucciones del lenguaje.

Herramienta: Es un lenguaje adicionalmente asociado con programas de utilerías para facilitar el desarrollo, la depuración y el uso de los programas de aplicación. Los programas de utilería pueden incluir editores de texto e imágenes depuradores, administradores de archivos e incluso generadores de código.

Shell: Herramienta con propósitos especiales, diseñada para cierto tipo de aplicaciones en las que el usuario solo debe aplicar la base del conocimiento.

Prototipo: Es una "muestra" más simplificada de un sistema. Permite entregar un resultado rápido de cómo se verá o será el sistema a diseñar. Por lo general el prototipo se muestra al cliente/usuario para lograr cumplir con todos los requisitos necesarios.

Lógica difusa: es una técnica de la inteligencia computacional que permite trabajar con información con alto grado de imprecisión.

Conjuntos difusos: Considerados como una generalización de los conjuntos clásicos, contempla la pertenencia parcial de un elemento a un conjunto, es decir, cada elemento presenta un grado de pertenencia a un conjunto difuso que puede tomar cualquier valor entre 0 y 1.

Función de pertenencia: Proporciona una medida de grado de similitud de un elemento de U con el conjunto difuso. Su forma depende del criterio aplicado en la resolución de cada problema La

única condición que debe cumplir una función de pertenencia es que tome valores entre 0 y 1, con continuidad.

Variable lingüística: Variable que puede tomar palabras en lenguaje natural como sus valores.

Artritis Reumatoide: Forma de artritis más devastadora que causa inflamación en la envoltura de las articulaciones, enfermedad crónica autoinmunitológica.

Autoinmunitológico: el sistema inmunológico del cuerpo ataca a sus propias células y tejidos sanos.

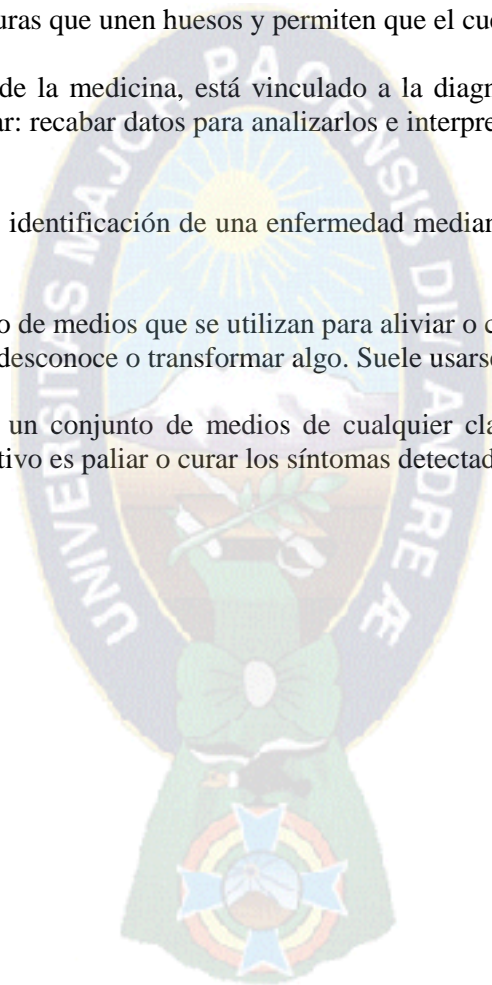
Articulaciones: Son estructuras que unen huesos y permiten que el cuerpo humano se mueva.

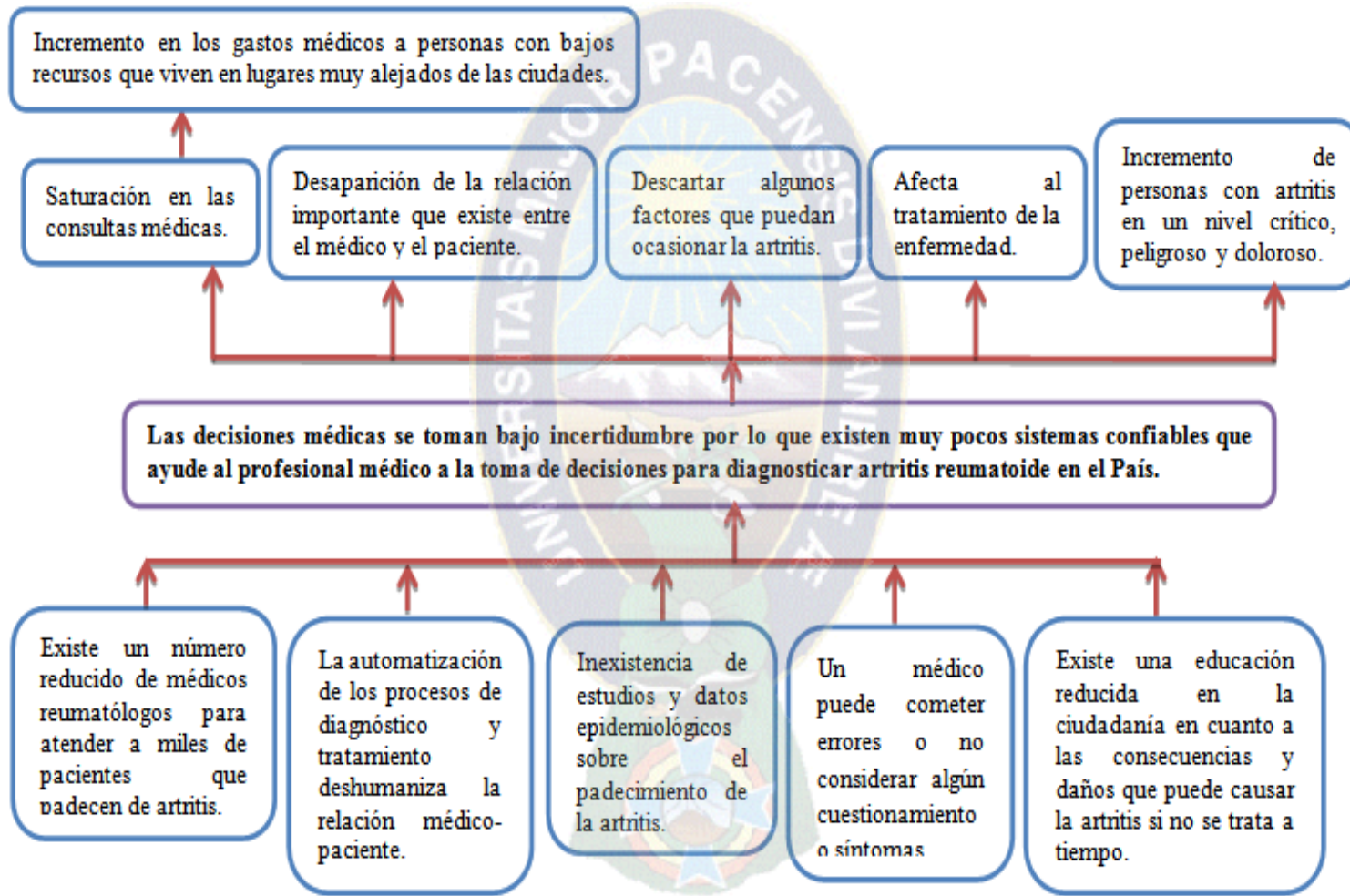
Diagnóstico: En el ámbito de la medicina, está vinculado a la diagnosis. Este término, a su vez, hace referencia a diagnosticar: recabar datos para analizarlos e interpretarlos, lo que permite evaluar una cierta condición.

Diagnosis: Determinación o identificación de una enfermedad mediante el examen de los síntomas que presenta.

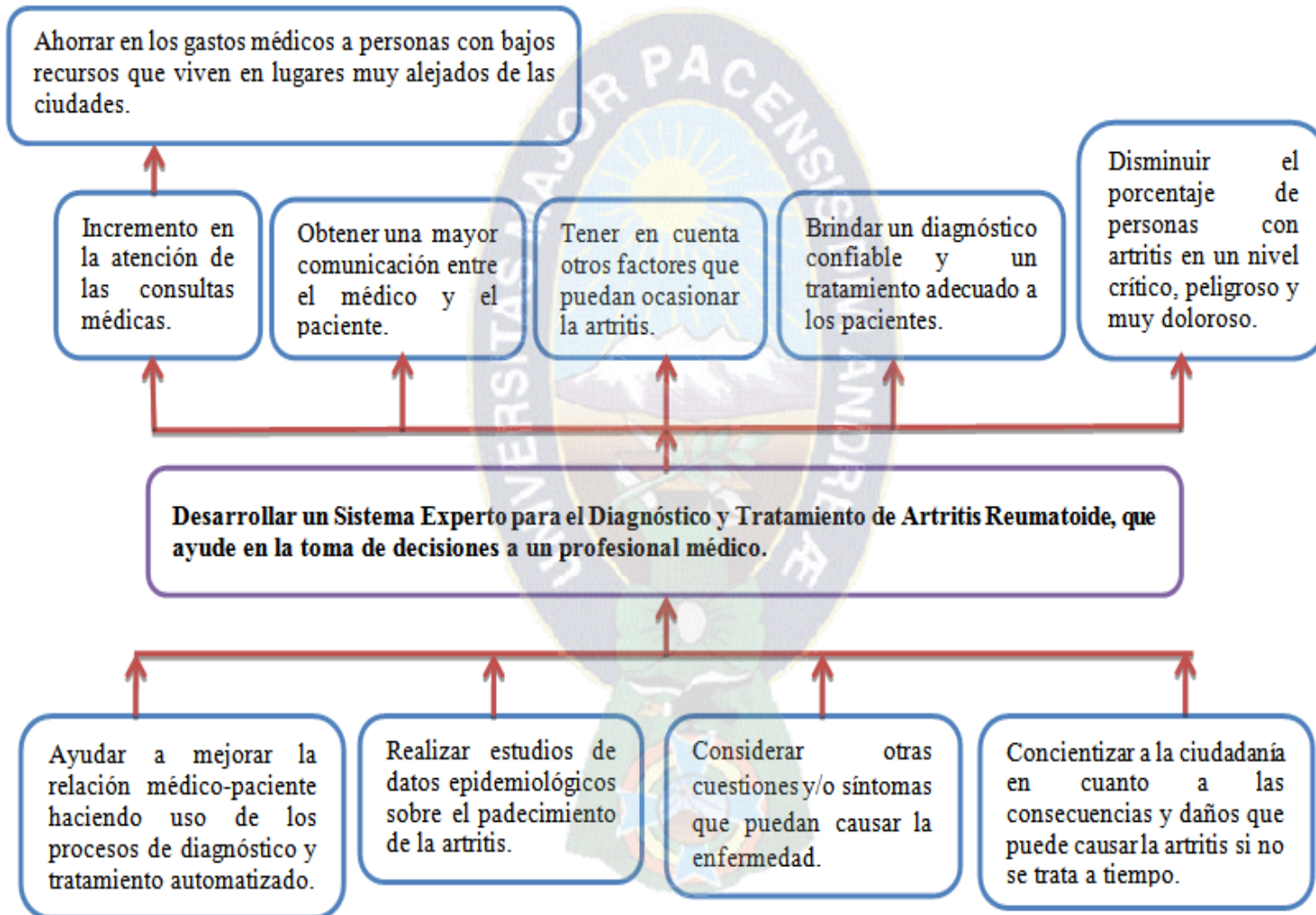
Tratamiento: es un conjunto de medios que se utilizan para aliviar o curar una enfermedad, llegar a la esencia de aquello que se desconoce o transformar algo. Suele usarse como sinónimo de terapia.

Terapia: Puede tratarse de un conjunto de medios de cualquier clase: quirúrgicos, fisiológicos, farmacológicos, etc. Su objetivo es paliar o curar los síntomas detectados a través de un diagnóstico.





ANEXO A: ÁRBOL DE PROBLEMAS



ANEXO B: ÁRBOL DE OBJETIVOS

**ANEXOS C: MARCO LÓGICO SISTEMA EXPERTO PARA EL DIAGNÓSTICO Y
TRATAMIENTO DE ARTRITIS REUMATOIDE**

	Resumen Narrativo	Indicadores Objetivamente Verificables	Medios de Verificación	Supuestos
F I N	Contribuir al desarrollo tecnológico del país, aportando con herramientas computacionales que permitan estudiar la artritis reumatoide.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Evaluación del Sistema experto para el diagnóstico y tratamiento de la artritis reumatoide, presentando una confiabilidad del 89% para el médico. ▪ Evaluación del sistema experto de clínicas y hospitales. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Encuestas y entrevistas a las personas involucradas sobre la investigación de la artritis reumatoide. ▪ Informes realizados por médicos de clínicas y hospitales. 	
P R O T O T I P O	Desarrollar un sistema experto que diagnostique la artritis reumatoide y sugiera el tratamiento adecuado a seguir.	Prototipo del sistema experto para diagnosticar la artritis reumatoide con una confiabilidad del 89%, concluido en diciembre 2013.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Informes realizados por el tutor y revisor. ▪ Presentación y aprobación de la documentación al revisor y tutor. ▪ Pruebas del Software del Prototipo del Sistema Experto. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Estudios anteriores sobre la información de la artritis reumatoide en el País. ▪ Existencia de trabajos de investigación de las aplicaciones del Sistema Experto en otros campos relacionados.
P R O D U C T O	<ul style="list-style-type: none"> • Base de Conocimiento del sistema experto. • Base de hechos del sistema experto. • Motor de inferencia del sistema experto. • Prototipo del sistema experto para el diagnóstico 	<ul style="list-style-type: none"> • Niveles de grados de la artritis reumatoide en Bolivia, clasificados a julio 2013. • Clasificada las reglas difusas en 99% a agosto 2013. • Prototipo de simulación aprobado al 100% a Diciembre 2013. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Informes de seguimiento de investigación, hecho por el revisor y tutor. ▪ Documentación del trabajo de investigación. ▪ Resultados de pruebas del prototipo. ▪ Resultado de los conjuntos difusos, en el documento. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Existen estudios realizados por hospitales en el País. ▪ Existen datos estadísticos y encuestas sobre la situación actual de la artritis reumatoide.

	y tratamiento de artritis reumatoide.			
A C T I V I D A D E S	<ol style="list-style-type: none"> 1. Investigar sobre la artritis reumatoide. 2. Análisis y abstracción del problema de la artritis reumatoide. 3. Identificar los síntomas y posibles tratamiento de la artritis reumatoide 4. Investigar y estudiar sobre sistemas expertos. 5. Investigar y estudiar sobre lógica difusa. 6. Estudiar la programación en Prolog. 7. Definir los datos de entrada para el modelo. 8. Diseño del modelo. 9. Desarrollo del software. 10. Implementación del prototipo 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Lectura de libros de medicina, internet, revistas y artículos de medicina por 4 semanas 2. Lectura de fichas bibliográficas por 2 semanas. 3. Lectura de libros de medicina, internet, revistas y artículos de medicina por 2 semanas. 4. Lectura de libros, internet, revistas, artículos y fichas bibliográficas por 2 semanas. 5. Lectura de libros, revistas y fichas bibliográficas por 2 semanas. 6. Lectura de libros, internet y cursos en internet por 3 semanas. 7. Identificación de datos por 2 semanas. 8. Estudio del lenguaje de programación, software de entrenamiento por 6 semanas. 9. Estudio del lenguaje de programación, software de entrenamiento por 6 semanas. 10. Software de implementación por 3 semanas. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Documento final de trabajo de tesis. ▪ Documentos sobre datos estadísticos de la artritis reumatoide. ▪ Informe de avance otorgado por el revisor y/o tutor. ▪ Como es la implementación de un prototipo no se tendrá ni un costo monetario. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Disposición de bibliografía necesaria. ▪ Existencia de equipos de computación disponible. ▪ Disponibilidad de internet. ▪ Disponibilidad de información en internet. ▪ Documentación necesaria para la realización del trabajo de tesis.

ANEXO D: PREGUNTAS Y RESPUESTAS SOBRE ARTRITIS REUMATOIDE SÍNTOMAS, DIAGNÓSTICO Y TRATAMIENTO

Por Dr. Pedro Miranda

Sociedad Chilena de Reumatología

CARACTERÍSTICAS DE LA ARTRITIS REUMATOIDE

1. ¿Qué es?

Es una enfermedad inflamatoria, sistémica y crónica que produce principalmente hinchazón de las articulaciones, originando dolor, aumento de volumen que lleva a deformidad y dificultad de movimiento de las zonas afectadas. Incluso puede, en etapas avanzadas, dañar otras partes del organismo, como los ojos, el corazón o los pulmones. Hasta el momento no se conoce la causa de ella. Hay diferentes factores que la desencadenan.

2. ¿Por qué se origina?

Su origen es todavía desconocido, a pesar de la gran cantidad de información disponible e investigación desarrollada en los últimos 50 años. Sin duda existe una predisposición genética, que aparece heredada o por mutación, y que asociada a diferentes factores ambientales, desarrolla esta agresión a los propios tejidos.

3. ¿En qué consiste?

Las articulaciones poseen una membrana –la membrana sinovial- que las recubre en su interior. Al desarrollarse esta enfermedad, la membrana sinovial se hincha provocando dolor, sensación de rigidez y pérdida de la función de la articulación afectada. Se producen una serie de sustancias tóxicas durante el proceso inflamatorio, que provocan fatiga, cansancio, a veces fiebre y síntomas generales, además de dolor articular e hinchazón. Pueden verse afectados órganos internos, glándulas salivales y lagrimales, etc.

4. ¿Cómo se contrae?

La artritis reumatoide pertenece al grupo de enfermedades conocidas como autoinmunes, es decir, son enfermedades que generan anticuerpos y células que atacan, de manera errónea, a elementos sanos del organismo. En el caso de la artritis reumatoide, el órgano del cuerpo atacado es la membrana sinovial, que recubre las articulaciones. Se atacan no sólo las articulaciones de las manos, sino que pueden verse afectadas todas las articulaciones del cuerpo.

5. ¿Qué personas son más sensibles a padecerla?

Todas las personas, independientemente de su edad o género, pueden padecer esta enfermedad; aunque la incidencia es mayor en mujeres, con una proporción de 3 a 1, y más frecuente entre los 30 y los 50 años. Puede aparecer en familiares de pacientes con artritis pero también en personas sin antecedentes familiares.

6. ¿En qué etapa de la vida aparece la enfermedad?

Aunque es más común el desarrollo de la artritis reumatoide en la edad adulta, también hay casos en que ésta puede aparecer durante la infancia y, en casos extremos, en el primer año de vida. El brote que afecta a las personas de edad puede llegar a ser muy agresivo. Los reumatólogos pediátricos son los especialistas que atienden a los pacientes que tiene artritis antes de los 16 años. Esta variante se conoce como Artritis Idiopática Juvenil (AIJ).

7. ¿Es hereditaria?

La artritis no se hereda ni se contagia; se presenta en todas las razas, climas y geografías. Aunque hay quienes piensan que puede haber una predisposición genética hacia la enfermedad, ya que hay casos de varios integrantes de la familia afectados por ella. Tampoco la provocan estilos de vida, aunque algunos de ellos agravan los síntomas, como el sobrepeso o el tabaco (es más frecuente entre los fumadores).

8. ¿Hay forma de prevenir que la enfermedad se desarrolle en los hijos de las personas enfermas?

No hay forma de prevenir la aparición en los hijos de familiares con artritis reumatoide, debido a que lo que se hereda es una predisposición genética, pero esto no necesariamente determina que los hijos de los pacientes tendrán la enfermedad. El único factor que se puede combatir y se asocia fuertemente a la aparición de la artritis reumatoide, es el tabaquismo.

9. ¿Qué diferencias hay entre artritis y artrosis?

La osteoartritis o artrosis, es una enfermedad que afecta el cartílago articular, tejido que recubre los extremos distales de los huesos. Debido a trastornos en su composición tiene un prematuro desgaste que no alcanza a recuperarse y pierde su capacidad de amortiguación, lo que lleva a cambios en el hueso debajo del cartílago. Al adelgazarse se pierde la lubricación y la movilidad, produciendo dolor y dificultad de movimiento.

PRINCIPALES SÍNTOMAS

10. ¿Cuáles son los síntomas que debieran llevar a consultar con un especialista?

El síntoma más frecuente es el dolor, como consecuencia de la hinchazón de las articulaciones. Otro síntoma habitual es la dificultad para realizar actividades normales, ya

que el proceso inflamatorio articular genera sustancias que producen fatiga, cansancio, decaimiento e incluso fiebre.

11. ¿Qué profesionales médicos tratan esta enfermedad?

El profesional médico más indicado para diagnosticar y tratar la artritis reumatoide es el reumatólogo. Otros especialistas que pueden colaborar con el manejo de aspectos relacionados con todo lo que implica vivir con esta patología son: enfermeras universitarias, terapeutas físicos y ocupacionales, cirujanos ortopédicos, psicólogos, trabajadores sociales y cuidadores especializados.

12. ¿Qué pasa si la artritis reumatoide no es tratada?

Si la inflamación se mantiene y no se modula, puede acabar dañando los huesos, cartílago, ligamentos y tendones que hay alrededor de la zona afectada. La consecuencia de este proceso es la deformidad progresiva de las articulaciones y la pérdida de capacidad para llevar a cabo actividades cotidianas. Se ha determinado que el mayor daño articular se produce en los primeros dos años de iniciada la inflamación.

DIAGNÓSTICO DE LA ARTRITIS REUMATOIDE

13. ¿Cómo se puede diagnosticar?

Para diagnosticar la artritis reumatoide, el reumatólogo tiene en cuenta la historia médica y realiza un examen físico, buscando inflamación o deformidad en las articulaciones, nódulos reumatoides en la piel e inflamación en otras partes del cuerpo. El especialista buscará los rasgos característicos de la enfermedad, como hinchazón, calor, movilidad limitada de las articulaciones de todo el cuerpo, así como nódulos o bultos bajo la piel. Síntomas a tener en cuenta también son la fatiga y sensación general de rigidez, especialmente al levantarse. El diagnóstico de la artritis está basado principalmente en la clínica, ya que los exámenes de laboratorio o las radiografías podrían no ser categóricos.

14. ¿Es claro el diagnóstico al principio de la enfermedad?

Hay muchas enfermedades reumatológicas que se pueden confundir con la artritis reumatoide, ya que comparten síntomas y signos similares. Se estima que, en promedio, los pacientes pueden demorarse hasta cuatro años para llegar a un diagnóstico certero.

15. ¿Qué exámenes hay que realizar para hacer un buen diagnóstico?

Se puede extraer líquido sinovial de las articulaciones inflamadas para su análisis en el laboratorio. El líquido analizado muestra aumento del número de células y cambios químicos y permite descartar otras enfermedades reumatológicas. Las radiografías dan poca información en los primeros meses de evolución de la patología. La ecografía y la

resonancia magnética también pueden servir de ayuda al médico. Estos exámenes muestran cambios inflamatorios como engrosamiento de la sinovial y mayor cantidad de líquido sinovial, lo que a veces no puede apreciarse con el examen físico.

Los exámenes de laboratorio que detectan anticuerpos son útiles cuando salen positivos, como el Factor Reumatoideo y los anticuerpos anticitrulinados. Se debe recalcar que el factor reumatoideo es sólo una ayuda al diagnóstico. No lo hace. Hay muchas personas que tienen en la sangre el factor reumatoideo y nunca desarrollan la enfermedad. En todo caso, se ha detectado el factor reumatoideo y el anticuerpo citrulinado antes de la aparición de los síntomas de la patología.

EFFECTOS DE LA ARTRITIS REUMATOIDE

16. ¿Cuáles son las articulaciones más afectadas corrientemente por la artritis reumatoide?

Las articulaciones más afectadas son las manos, muñecas, cuello, hombros, codos, caderas, rodillas, tobillos, pies y mandíbula. Además, la afección suele ser simétrica, es decir, si un paciente muestra inflamación en la muñeca izquierda es muy probable que la derecha también esté inflamada. Lo más común es que las primeras alteraciones se manifiesten en las manos y en los pies.

17. La artritis reumatoide ¿puede atacar también otros órganos?

Si, además de la membrana sinovial, se pueden alterar otras estructuras, como la piel. Pueden aparecer los llamados nódulos reumatoides que son abultamientos duros que aparecen en zonas de roce, como los codos, el dorso de los dedos de las manos y los pies, la parte posterior de la cabeza o la zona del talón. Con frecuencia, puede originar inflamación y atrofia de las glándulas que fabrican las lágrimas, la saliva, los jugos digestivos o el flujo lagrimal (Síndrome de Sjögren). Además, puede afectar el pulmón, los nervios periféricos y otros sistemas.

18. ¿Cuánto tiempo se demora la artritis reumatoide en causar invalidez?

Estudios muestran la destrucción de las articulaciones en el 70 % de los pacientes, dos años después del inicio de la enfermedad. Diez años después del comienzo de la artritis reumatoide, más de la mitad de los pacientes sufre discapacidad grave. A los quince años después de su aparición, sólo el 40% puede trabajar.

19. ¿Cómo influye la artritis reumatoide en la vida de la persona?

La enfermedad influye de manera muy negativa en la vida del enfermo, tanto en el terreno doméstico como el laboral y social. Alrededor del 42% de los pacientes con artritis reumatoide pierde su trabajo por causa de la enfermedad.

20. ¿La artritis reumatoide afecta psicológicamente a la persona?

La enfermedad tiene una repercusión psicológica en los afectados, que se dan cuenta de su incapacidad y que deben depender de los demás para realizar tareas mínimas. Los jóvenes presentan mucho miedo al futuro, por la inseguridad que les produce saber que no pueden desarrollar una vida familiar, laboral y social normal. Los cambios que acarrea la artritis reumatoide pueden aparecer muy rápidamente, lo que hace más difícil adaptarse a las nuevas limitaciones de vida, por ello la frecuencia de depresión en estos pacientes es muy alta. Se estima que la tasa de depresión entre los pacientes con artritis reumatoide oscila entre 14% y 70%. Por otra parte, se ha visto que el estrés emocional y diferentes problemas psicológicos pueden jugar un papel muy importante en afectar el sistema inmunológico antes de la aparición de la enfermedad, así como también complicar su evolución, a pesar de llevar un tratamiento correcto.

TRATAMIENTOS PARA COMBATIR LA ARTRITIS REUMATOIDE

21. ¿Existe cura total para la artritis reumatoide?

En la actualidad todavía no se dispone de un tratamiento que permita hablar de curación de la artritis reumatoide en su totalidad. Pero en los últimos años se han registrado importantes avances en el campo terapéutico, que están favoreciendo el mejor control de la enfermedad y que, incluso, hacen pensar en la posible remisión de la misma. Si hace unos años el objetivo era minimizar los síntomas, hoy -además de aliviarlos- se busca detener la enfermedad, impedir la destrucción articular y evitar la pérdida de función, la deformidad y la discapacidad. Hasta hace unos años, el tratamiento estaba limitado al uso de fármacos sintomáticos (corticosteroides y antiinflamatorios no esteroideos), que reducen la hinchazón y alivian el dolor. Después se empezaron a usar el metotrexato y los antimaláricos, que pueden enlentecer la progresión del daño articular pero que no logran su remisión.

Hoy existe gran desarrollo tecnológico en terapias biológicas, por ejemplo fármacos anti-TNF (bloqueantes del Factor de Necrosis Tumoral Alfa), orientados a bloquear los mecanismos implicados en la inflamación de las articulaciones. Estos han logrado demostrar frenar el desarrollo de la enfermedad y, de esta forma, evitar la discapacidad y demás secuelas asociadas a la artritis reumatoide. Otras terapias biológicas en uso, van dirigidas contra las Células B, otras contra la Interleuquina 6 y hay muchas otras que se están investigando y auguran un futuro promisorio para los pacientes con artritis.

22. ¿Cuándo hay que comenzar su tratamiento?

En las fases iniciales de la enfermedad -cuando sólo hay inflamación y dolor y no están afectadas las estructuras articulares- existe lo que se denomina una “ventana terapéutica” en que, con un tratamiento eficaz, se puede detener la enfermedad. El

problema se produce cuando los síntomas en las primeras fases pasan inadvertidos, lo cual, sumado al escaso conocimiento que existe sobre la enfermedad, lleva a un diagnóstico tardío.

23. ¿Qué hace el tratamiento tradicional para combatir la artritis reumatoide?

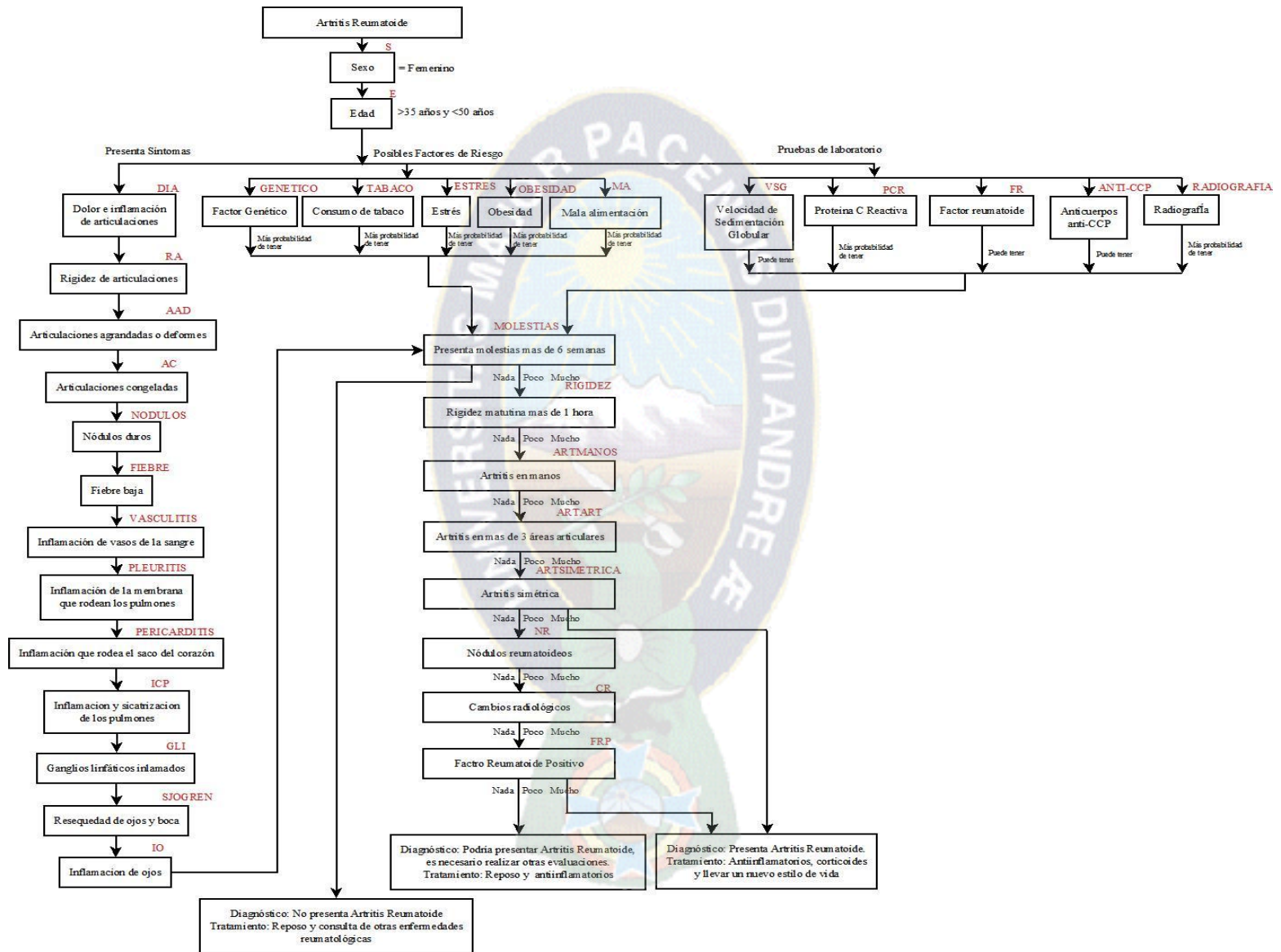
Con el tratamiento tradicional -entre el que está el uso de metotrexato- se puede conseguir que la inflamación de la membrana sinovial se controle, aunque no así el daño ya producido, que puede seguir generándose a pesar de que los síntomas estén controlados. Por esta razón es importante comenzar el tratamiento cuando aparecen los primeros síntomas. Como el objetivo de la terapia es prevenir el daño articular, actualmente se prefiere partir con un tratamiento enérgico con varias drogas simultáneamente y así evitar que se dañen las articulaciones.

24. ¿Qué efectos secundarios tiene esta terapia tradicional?

Todos los tratamientos actuales tienen efectos secundarios que hay que vigilar. El metotrexato puede afectar el hígado y el tubo digestivo, por lo que debe controlarse estrechamente. También puede afectar la sangre y el pulmón, lo que también requiere preocupación especial. Los corticoides pueden hacer aparecer una Diabetes Mellitus, o desarrollar cataratas o glaucoma ocular. Pueden llevar a osteoporosis o hipertensión arterial, entre otros

25. ¿Qué pasa cuando la terapia tradicional no funciona?

Cuando la terapia tradicional o las combinaciones no funcionan, se recurre a la terapia biológica, que puede utilizarse como terapia única o combinada con metotrexato, fórmula que para muchos especialistas es más eficaz.



ANEXO E: ÁRBOL DE DECISIONES

Nro. caso	Sexo Edad	Médico		Sistema Experto	
		Síntomas	Diagnóstico	Síntomas	Diagnóstico
1	Mujer 31 años	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Artritis deformante en una tía. ▪ Dolor de manos, codos, hombros, rodillas y pies, acompañado de hinchazón en varias articulaciones de los dedos, muñeca y rodillas. ▪ Rigidez matutina de varias horas en las manos. ▪ Mucha fatiga y malestar general. ▪ Velocidad de sedimentación globular. ▪ Proteína C reactiva. ▪ Factor reumatoide positivo poco ▪ Presencia de cambios radiológicos. 	Presenta Artritis Reumatoide.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Velocidad de sedimentación globular VSG. ▪ Proteína C reactiva. ▪ Molestia por más de 6 semanas. ▪ Rigidez. ▪ Factor reumatoide. ▪ Cambios Radiológicos. 	Presenta Artritis Reumatoide.
2	Mujer 40 años	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Artritis simétrica de MCF e IFP. ▪ Presenta aumento de temperatura y de volumen en la rodilla derecha. ▪ Tobillos y pies con aumento de volumen, con dolor y movimientos limitados. ▪ Proteína C Reactiva PCR elevadas. ▪ Factor reumatoideo positivo. ▪ anti CCP. ▪ Manifestación extraarticular. ▪ No tenía nódulos reumatoides. 	Presenta Artritis Reumatoide.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Proteína C Reactiva PCR. ▪ anti CCP. ▪ Molestias por más de 6 semanas. ▪ Artritis simétrica. ▪ Artritis en las Articulaciones. ▪ Factor reumatoide positivo. ▪ Cambios Radiológicos. 	Presenta Artritis Reumatoide.
3	Mujer 35 años	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Hinchazón de tobillo seguido de la Rodilla, muñecas, dedos e incluso el esternón a la altura del cuello. ▪ Proteína C Reactiva. ▪ Velocidad de sedimentación Globular VSG. ▪ articulaciones con distribución simétrica 	Podría tener artritis reumatoide.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Inflamación de las articulaciones. ▪ Artritis simétrica. 	No presenta artritis reumatoide.
4	Mujer 33 años	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Fuma. ▪ Tiene una mala alimentación. ▪ mucho dolor en los nudillos. ▪ dolor de articulaciones en el área de los dedos de las manos. ▪ deformidad en los dedos de manos. 	Podría tener artritis reumatoide.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Fuma. ▪ Mala alimentación. ▪ Artritis en las manos. ▪ Cambios radiológicos. 	Podría tener artritis reumatoide.
5	Mujer 48 años	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Tiene Sobre Peso. ▪ Dolor articular en rodillas y cadera. ▪ Rigidez Matutina ▪ Nódulos reumatoideos. 	Podría tener artritis reumatoide.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Obesidad. ▪ Dolor articular en rodillas y cadera. ▪ Rigidez Matutina. ▪ Nódulos reumatoideos. 	No determinado

6	Mujer 38 años	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Dolor en todas las articulaciones (dedos, muñecas y codos). ▪ pero no presenta inflamación. ▪ Factor reumatoide: 6,2 (Valores ref. 0-14) ▪ VSG: 4 (Valores ref. 3-20) ▪ no fumadora. ▪ Antecedentes de artrosis en casa (abuela y tías maternas). 	Podría tener artritis reumatoide.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Dolor en todas las articulaciones (dedos, muñecas y codos). ▪ pero no presenta inflamación. ▪ Factor reumatoide positivo. 	No determinado
7	Mujer 35 años	<ul style="list-style-type: none"> ▪ columna inflamada. ▪ Velocidad de segmentación globular. ▪ Factor reumatoide positivo. 	No presenta artritis.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Velocidad de sedimentación globular VSG. ▪ Factor reumatoide positivo. 	No presenta artritis.
8	Mujer 30 años	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Inflamación de alguna articulación. ▪ Proteína C reactiva PCR. ▪ Factor Reumatoide positivo. ▪ Rigidez matutina en las articulaciones. ▪ Inflamación simétrica. ▪ Dolores y molestias por más de seis semanas. 	Presenta Artritis Reumatoide.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Proteína C reactiva PCR. ▪ Dolores y molestias por más de seis semanas. ▪ Rigidez matutina en las articulaciones.. ▪ Artritis simétrica. ▪ Factor Reumatoide positivo mucho. 	Presenta Artritis Reumatoide.
9	Mujer 54 años.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 8 meses con dolores articulares. ▪ Dolor en las articulaciones de las manos, rodillas, caderas y tobillos. ▪ Con aumento de volumen articular. ▪ Rigidez matutina de más de una hora de duración. ▪ Nódulos reumatoides. 	Presenta Artritis Reumatoide.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Presenta fiebre baja. ▪ Resequedad de ojos y boca. ▪ 8 meses con dolores articulares. ▪ Rigidez matutina de más de una hora de duración. ▪ Dolor en las articulaciones de las manos, rodillas, caderas y tobillos. ▪ Nódulos reumatoides. ▪ Cambios Radiológicos. 	Presenta Artritis Reumatoide.
10	Mujer 32 años.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Molestias en las articulaciones de las manos. ▪ Dedos, inflamados. ▪ Rigidez matutina por más de 1 hora. ▪ Artritis en al menos 3 áreas articulares de muñecas, codos, rodillas, tobillos. ▪ Permanencia de dolores y molestias por más de seis semanas. ▪ Afectación inflamatoria articular simétrica. 	Presenta Artritis Reumatoide.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Dolor e inflamación de las articulaciones. ▪ Permanencia de dolores y molestias por más de seis semanas. ▪ Rigidez matutina por más de 1 hora. ▪ Artritis en al menos 3 áreas. ▪ Artritis en las articulaciones. 	Presenta Artritis Reumatoide.

11	Mujer 41 años	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Presenta dolor vago y progresivo en manos y muñecas de 2 meses de evolución. ▪ Sus molestias son más intensos en las mañanas al levantarse y vestirse y se prolongan hasta media mañana. ▪ Además ella ha notado hinchazón y hormiguelo en ambas manos. ▪ Aumento de volumen en su rodilla derecha. ▪ Entre sus antecedentes familiares destaca que su abuela ya fallecida tenía “reumatismo”. ▪ No presenta lesiones en la piel, ni nódulos cutáneos. ▪ El examen pulmonar, cardíaco y abdominal es normal. ▪ Ambas manos se ven algo aumentadas de volumen y al presionar las articulaciones MCFs e IFPs refiere franco dolor. ▪ Al examen de pies se aprecian similares signos. No se observan deformidades ni desviaciones en manos ni pies. 	Presenta Artritis Reumatoide.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Artritis simétrica. ▪ Entre sus antecedentes familiares destaca que su abuela ya fallecida tenía “reumatismo”. ▪ Molestias por más de 6 semanas. ▪ Rigidez matutina. ▪ Artritis en manos. ▪ Artritis en las articulaciones. 	Podría tener artritis reumatoide.
12	Mujer 45 años.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Desde hace 4 meses cansancio general, dolor y “entumecimiento” de sus manos al despertar que persisten hasta casi 2 horas. ▪ La paciente no ha tenido fiebre, ni dolor torácico o vertebral. ▪ No es fumadora. ▪ Como antecedentes familiares refiere que su madre tiene psoriasis. ▪ Al examen tiene leve aumento de volumen en muñecas, codos, MCFs y MTFs en forma simétrica, articulaciones que a la compresión duelen moderadamente. ▪ El examen de su piel es normal. ▪ Factor Reumatoide positivo. ▪ Radiografía de manos se nota un aumento de volumen de partes blandas periarticulares en muñecas y MCF. 	Presenta Artritis Reumatoide.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Como antecedentes familiares refiere que su madre tiene psoriasis. ▪ molestias por más de 6 semanas. ▪ Rigidez matutina. ▪ Artritis en las articulaciones. ▪ Artritis en forma simétrica. ▪ Cambios radiológicos. ▪ Factor Reumatoide positivo. 	Presenta Artritis Reumatoide.