

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



**TESIS DE GRADO**

**“SISTEMA EXPERTO PARA EL DIAGNOSTICO DEL CANCER  
TIROIDEO BASADO EN REDES NEURONALES”**

PARA OPTAR AL TÍTULO DE LICENCIATURA EN INFORMATICA  
MENCION: INGENIERIA DE SISTEMAS INFORMATICOS

**POSTULANTE:** MARIBEL JUANA CHAMBI CALLISAYA

**TUTOR METODOLOGICO:** M. Sc. ALDO RAMIRO VALDEZ ALVARADO

**ASESOR:** Lic. JAVIER HUGO REYES PACHECO

LA PAZ – BOLIVIA  
2014



**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.**

## **AGRADECIMIENTOS**

Dar gracias a Dios por regalarme esta vida tan linda llena de dicha, salud y regalarme la compañía de todos los que me rodean.

A mi Tutor M. Sc. Aldo Ramiro Valdez Alvarado por la paciencia, ayuda y dedicación hacia mi persona para ayudarme a realizar dicho trabajo de investigación.

A mi Asesor Lic. Javier Hugo Reyes Pacheco por el apoyo y ayuda incondicional brindada hacia mi persona en todo momento.

A la Dra. Isabel Eliana Cárdenas Guzmán especialista en Endocrinología por la paciencia y ayuda al brindarme la información necesaria para realizar este trabajo de investigación.

A la Dra. Mariela Gutierrez especialista en Medicina General por el apoyo, orientación brindada y sobre todo una amistad incondicional.

A la clínica EmbrioVid por abrirme las puertas para realizar este trabajo de investigación.

A ti Javier Borda por el apoyo, amor y sobre todo por estar a mi lado en todo momento.

## **DEDICATORIA**

A mis Padres por el apoyo en esta etapa de mi carrera Profesional, a mis hermanos que están conmigo en todo momento y por sobre todo a ti mi Dios.

## RESUMEN

El gran avance en cuanto a las nuevas tecnologías utilizadas en el campo de la medicina, ha sido un impulso a la presente investigación, en el desarrollo se hace presente las redes neuronales, las cuales permiten resolver una amplia gama de problemas, entre los que se encuentran el diagnóstico de patología médicas tales como el Cáncer Tiroidal; permitiendo además acelerar el tiempo de procesamiento de la información y ser tolerante a nuevos datos introducidos a la red neuronal. Cuando se analiza problemas de salud, las personas buscan alternativas de solución con bajo costo.

Los casos de estudio utilizados se basan en historiales de pacientes de la clínica “Embriovid”, se tuvo acceso a los diferentes análisis de los pacientes, como las muestras de sangre y los reportes de la biopsias entre otros. En este trabajo se estudia los síntomas frecuentes que suele tener un paciente diagnosticado de Cáncer Tiroideo y el modelado e implementación de un prototipo de red neuronal que permita el reconocimiento de las anomalías.

Para tal efecto, se realiza un análisis a las características extraídas de un conjunto de reportes de biopsias de muestras y pruebas sanguíneas, las cuales determinan la dimensionalidad de la capa de entrada a la red neuronal.

En la determinación de la estructura interna de la red neuronal se utiliza el método científico empírico – analítico que permite el conocimiento auto correctivo y progresivo.

En conclusión, el modelo implementado de una red neuronal simple, como es el Perceptrón, muestra la eficacia del procesamiento de un diagnóstico por síntomas para cualquier persona.

## ÍNDICE

CAPÍTULO I.....	1
1.1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.2 ANTECEDENTES.....	2
1.2.1 Antecedentes de Proyectos Similares.....	4
1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	5
1.3.1 Problema Central.....	6
1.3.2 Problemas Secundarios.....	6
1.4 DEFINICIÓN DE OBJETIVOS.....	7
1.4.1 Objetivo General.....	7
1.4.2 Objetivos Específicos.....	7
1.5 HIPÓTESIS.....	8
1.5.1 Operacionalización de Variables.....	8
1.6 JUSTIFICACIÓN.....	9
1.6.1 Justificación Económica.....	9
1.6.2 Justificación Social.....	10
1.6.3 Justificación Científica.....	10
1.7 ALCANCES Y LÍMITES.....	10
1.7.1 Alcances.....	10
1.7.2 Límites.....	11
1.8 APORTES.....	11
1.8.1 Práctico.....	11
1.8.2 Teórico.....	11
1.9 METODOLOGÍA.....	12
1.9.1 Metodología de Buchanan.....	12
1.9.2 El Perceptrón Simple.....	14
CAPÍTULO II.....	15
MARCO TEÓRICO.....	15

2.1 INTRODUCCIÓN.....	15
2.2 INTELIGENCIA ARTIFICIAL.....	15
2.2.1 Categorías de la Inteligencia Artificial.....	16
2.3 SISTEMA EXPERTO.....	17
2.3.1 Tipos de Sistemas Expertos.....	19
2.3.2 Elementos de un Sistema Experto.....	23
2.3.2.1 Base de Conocimiento.....	23
2.3.2.2 Motor de Inferencia.....	23
2.3.2.3 Base de Hechos.....	24
2.3.2.4 Interfaz de Usuario.....	24
2.3.2.5 Modo de Explicación.....	25
2.4 METODOLOGÍA DE DESARROLLO DE BUCHANAN.....	26
A. Fases.....	27
B. Etapas.....	30
2.5 REDES NEURONALES.....	32
2.5.1 Neurona Biológica.....	32
2.5.1.1 Estructura de la Neurona.....	33
2.5.2 Neurona Artificial.....	35
2.5.2.1 Tipos de Neuronas.....	36
2.5.3 Red Neuronal Artificial.....	37
2.4.3.1 Elementos de una Red Neuronal.....	37
2.5.4 Características de una Red Neuronal.....	41
2.5.4.1 Topología.....	41
2.5.4.2 Mecanismos de Aprendizaje.....	42
2.5.5 Perceptrón.....	47
2.5.5.1 Arquitectura.....	47
2.6 CANCER TIROIDEO.....	51
2.6.1 Nódulos y agrandamientos tiroideos benignos.....	52
2.6.2 Tumores tiroideos malignos (cancerosos).....	53

2.6.2.1 Cánceres tiroideos diferenciados.....	53
2.6.2.2 Otros tipos de cáncer de tiroides .....	55
2.6.3 Síntomas del Cáncer Tiroideo .....	57
2.6.4 Causa del Cáncer Tiroideo .....	57
CAPÍTULO III .....	58
MARCO APLICATIVO .....	58
3.1 INTRODUCCIÓN.....	58
3.2. Metodología para el desarrollo del Sistema Experto.....	59
3.2.1 Fase 1: Identificación: .....	59
3.2.2 Fase 2: Conceptualización.....	60
3.2.3 Fase 3: Formalización.....	60
3.2.3.1 Descripción Formal de Modelo.....	60
3.2.4 Fase 4: Elicitación .....	72
3.2.4.1 Diseño de la Red Neuronal.....	72
3.2.5 Fase5: Implementación.....	79
3.2.5.1 Herramientas .....	80
3.2.5.2 Interfaces del Sistema.....	81
CAPÍTULO IV .....	89
PRUEBA DE HIPÓTESIS .....	89
4.1 INTRODUCCIÓN.....	89
4.2 PRUEBA DE RACHAS DE WALD—WOLFOWITZ .....	89
4.3 DESARROLLO DE LA PRUEBA DE HIPÓTESIS .....	91
CAPÍTULO V .....	95
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	95
5.1 CONCLUSIONES.....	95
5.2 RECOMENDACIONES .....	96



## INDICE DE FIGURAS

Figura 1. 1: Glándula Tiroides.....	5
Figura 1. 2: Perceptrón .....	14
Figura 2. 1: Muestra cómo se divide los sistemas expertos.....	22
Figura 2. 2: Estructura de un Sistema Experto. ....	25
Figura 2. 9: Fases de la Metodología Buchanan.....	26
Figura 2. 10: Fases de la Metodología.....	29
Figura 2. 3: Estructura de una neurona biológica.....	35
Figura 2. 4: Ejemplo de una unidad de proceso (neurona artificial) .....	38
Figura 2. 5: Unidad Procesadora Básica del Perceptrón .....	48
Figura 2. 6: Red Perceptrón de dos Capas.....	49
Figura 2. 7: Red Perceptron de tres Capas.....	50
Figura 3. 1: Revisión periódica del Paciente .....	68
Figura 3. 2: Estudio por imagen para evaluar la función tiroidea .....	70
Figura 3. 3: Mediciones .....	71
Figura 3. 4: Componentes del Sistema Experto .....	73
Figura 3. 5: Función Logaritmo Sigmoidal .....	74
Figura 3. 6: Función Tangente hiperbólica.....	74
Figura 3. 7: Matriz de resultados detectados .....	77
Figura 3. 8: Acceso al Sistema .....	81
Figura 3. 9: Pantalla Principal para el Administrador del Sistema.....	82
Figura 3. 10: Pantalla Registro de Usuarios y Profesional .....	83
Figura 3. 11: Cambio de contraseñas.....	84
Figura 3. 12: Pantalla Registro de Pacientes. ....	85
Figura 3. 13: Pantalla de Actualización de datos.....	86
Figura 3. 14: Pantalla de Diagnóstico de Cáncer Tiroideo.....	87
Figura 3. 15: Pantalla de diagnóstico final .....	88

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1. 1: Relación Causa – Efecto.....	6
Tabla 1. 2: Identificador de Variables .....	8
Tabla 2. 1: Comparación de un sistema experto contra un experto humano.....	18
Tabla 2. 2: Comparación de Metodologías.....	29
Tabla 3. 1: Función OR .....	58
Tabla 3. 2: Descripción de valores de entrada.....	75
Tabla 3. 3: Variables de entrada .....	75
Tabla 3. 4: Datos de entrada en 2 vectores .....	77
Tabla 3. 5: Variables de Salida.....	79
Tabla 3. 6: Herramientas .....	80

### 1.1 INTRODUCCIÓN

La presente tesis tendrá un enfoque sobre el área de la salud, hablando directamente del cáncer tiroideo, que es una enfermedad por la que se forman células malignas (cancerosas) en los tejidos de la glándula tiroidea. La tiroides es una glándula en la base de la garganta, cerca de la tráquea. Tiene forma de mariposa, con un lóbulo derecho y un lóbulo izquierdo. El istmo, un trozo delgado de tejido, conecta los dos lóbulos. Una tiroides saludable es un poco más grande que una moneda de un cuarto de dólar. Por lo general, no se puede palpar a través de la piel.

Como se puede observar el cáncer tiroideo es complejo, por lo que se hace necesario el uso de los sistemas expertos para la detección de esta enfermedad crónica.

Los sistemas expertos son programas que reproducen el proceso intelectual de un experto humano en un campo particular, pudiendo mejorar su productividad, ahorrar tiempo y dinero, conservar sus valiosos conocimientos y difundirlos más fácilmente. Por ejemplo, un sistema experto en diagnóstico médico requeriría como datos los síntomas del paciente, los resultados de análisis clínicos y otros hechos relevantes, y, utilizando éstos, buscaría en una base de datos la información necesaria para poder identificar la correspondiente enfermedad.

El diagnóstico es la actividad fundamental, personal, individual y cognitiva, donde el profesional eficiente articula sus conocimientos científicos y su experiencia clínica con sentido común. El enseñar a diagnosticar es fundamental dentro de la formación de los profesionales. Para el aprendizaje del diagnóstico, además del conocimiento teórico adquirido, es necesaria la experiencia en casos clínicos y la práctica de consultorio puede

verse reforzada mediante herramientas automatizadas basadas en alguna representación del conocimiento.

El campo de estudio de la presente tesis, pertenece a problemas de diagnóstico médico, por lo general este tipo de problemas se ubican en el mundo que no se comporta de manera consciente e inalterable, por lo contrario muchas veces la información que se tiene es incompleta, contradictoria, es decir, que se comporta de manera aleatoria, por esta razón se recomienda que los sistemas de diagnóstico sean tratados a través del razonamiento probabilístico y con la ayuda de las Redes Neuronales.

Las Redes Neuronales son sistemas ideados como abstracciones de las estructuras neurobiológicas<sup>1</sup> (cerebros) encontradas en la naturaleza y tienen la característica de ser sistemas desordenados capaces de guardar información.

La forma en que desarrollan su trabajo es esencialmente distinta de la utilizada por las computadoras convencionales. Los procesadores microscópicos del cerebro (neuronas) operan en paralelo y presentan cualitativamente más ruido que los elementos que forman a las computadoras. No ejecutan un programa fijo con base en un conjunto previamente especificado de datos, sino que comunican señales a través de retransmisores que llamamos sinapsis, que llegan a centros de conjunción llamados los cuerpos de las neuronas y desde los cuales surgen señales eléctricas a través de canales conocidos con el nombre de axones.

## **1.2 ANTECEDENTES**

El cáncer empieza en las células, las cuales son las unidades básicas que forman los tejidos. Los tejidos forman la tiroides y los otros órganos del cuerpo.

---

<sup>1</sup> La Neurobiología estudia cómo son los elementos constituyentes del sistema nervioso, las células nerviosas, y cómo se organizan éstas en circuitos funcionales que procesan la información y son responsables del comportamiento.

Las células tiroideas normales crecen y se dividen para formar nuevas células a medida que el cuerpo las necesita. Cuando las células normales envejecen o se dañan, mueren, y células nuevas las reemplazan.

Algunas veces, este proceso se descontrola. Nuevas células se forman cuando el cuerpo no las necesita y células viejas o dañadas no mueren cuando deberían morir. La acumulación de células que no son necesarias resulta en la formación de una masa de tejido que se llama nódulo. También se puede llamar bulto o tumor.

La mayoría de los nódulos tiroideos son benignos. Los nódulos benignos no son cancerosos (malignos):

➤ **Nódulos benignos:**

- Generalmente no son dañinos
- No invaden los tejidos de su alrededor
- No se diseminan a otras partes del cuerpo
- Generalmente no necesitan operarse

➤ **Nódulos malignos (cáncer de tiroides):**

- Algunas veces pueden poner la vida en peligro
- Pueden invadir tejidos y órganos cercanos
- Pueden diseminarse a otras partes del cuerpo
- Generalmente pueden extirparse o eliminarse, pero algunas veces el cáncer de tiroides regresa

La investigación actual sobre el cáncer tiroideo se encuentra aún en muchos laboratorios y hospitales, se están realizando hallazgos importantes. Cada año, los científicos realizan más descubrimientos sobre las causas de la enfermedad, cómo prevenirla, y cómo mejorar el tratamiento. En los últimos años, por ejemplo, han aumentado las pruebas de los beneficios que resultan de combinar la cirugía con la terapia con yodo radiactivo y terapia

con hormona tiroidea. Los resultados incluyen tasas de cura más altas, tasas de recurrencia más bajas y una supervivencia más larga.

### **1.2.1 Antecedentes de Proyectos Similares**

A continuación se muestran los siguientes trabajos afines al tema:

**Título:** “Sistema Experto para el diagnóstico de Cáncer de Colon”

**Autor:** Quispe Aruquipa, Edwin Luis

**Año:** 2006

**Institución:** Universidad Mayor de San Andrés, Facultad de Ciencias Puras y Naturales, Carrera de Informática.

**Resumen:** La Tesis presentada, desarrolla un Sistema Experto para el diagnóstico de Cáncer de Colon que utiliza lógica difusa, sirviendo de ayuda para el experto médico en la ciudad de La Paz. Para ello utiliza el método de Sistemas Expertos.

**Título:** “Sistema Experto para el diagnóstico de Cáncer de Riñon”

**Autor:** Galvez Claros, Crissthiam

**Año:** 2012

**Institución:** Universidad Mayor de San Andrés, Facultad de Ciencias Puras y Naturales, Carrera de Informática.

**Resumen:** Este sistema, ayuda a determinar el diagnóstico de Cáncer de Riñon, utilizando para ello lógica difusa, tomando en cuenta la Arquitectura de un sistema experto, el Método Científico y la Fructificación de variables.

**Título:** “Sistema Experto para el diagnóstico de Cáncer de Mama”

**Autor:** Chambilla Ticona, Melanía Victoria.

**Año:** 2001

**Institución:** Universidad Mayor de San Andrés, Facultad de Ciencias Puras y Naturales,

Carrera de Informática.

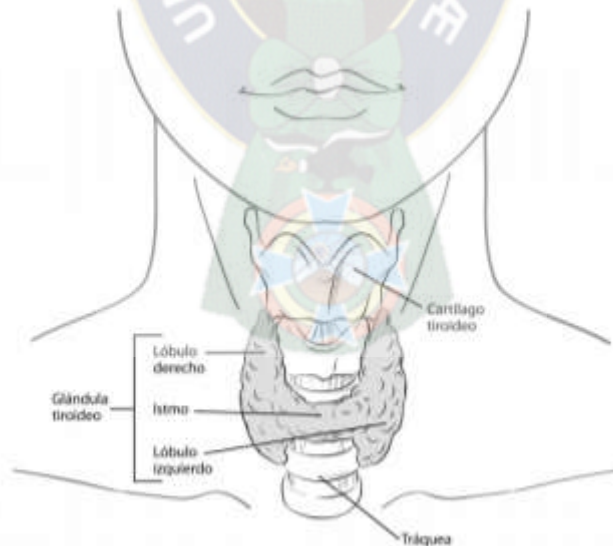
**Resumen:** Este sistema, ayuda a determinar el diagnóstico de cáncer de mama, utilizando para ello Lógica de predicados y Método Científico.

### 1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El cáncer de tiroides es un cáncer que se origina en la glándula tiroides. Para poder entender el cáncer de tiroides, resulta útil conocer sobre la estructura normal y el funcionamiento de esta glándula.

La glándula tiroides está localizada debajo del cartílago tiroideo (la manzana de Adán), en la parte delantera del cuello. En la mayoría de las personas no se puede ver o palpar. Esta glándula, en forma de mariposa, tiene dos lóbulos, el lóbulo derecho y el lóbulo izquierdo, que están unidos por un istmo angosto (ver Figura 1.1).

**Figura 1. 1: Glándula Tiroides**



[Fuente: American Cancer Society, 2014]

### 1.3.1 Problema Central

Debido a lo mencionado, se genera la siguiente pregunta:

¿Cómo se podrá mejorar la precisión en el diagnóstico del cáncer tiroideo, sin que se menosprecie el trabajo del experto humano?

### 1.3.2 Problemas Secundarios

Por consiguiente debemos dar paso a los siguientes problemas secundarios en una relación causa y efecto que se ve en la Tabla 1.1

**Tabla 1. 1: Relación Causa – Efecto**

<b>Causa</b>	<b>Efecto</b>
Base de conocimiento limitado referente a la enfermedad del tema de investigación.	Esto hace que el especialista demore en el diagnóstico de la enfermedad.
Insatisfacción de parte de los pacientes y sus familiares, al cumplir un tratamiento inadecuado a la enfermedad	La medicación inadecuada, permite el avance de la enfermedad.
Tiempo extenso en la valoración de la enfermedad.	El paciente pierde mucho tiempo en exámenes y consultas médicas.
Los Diagnósticos pocos precisos en relevancia a la gravedad de la enfermedad.	Aumenta el porcentaje de riesgo
Los análisis y requerimientos de cada paciente son realizados de manera mixta, uno son manuscritos y otros son digitales.	El diagnóstico final es poco confiable.

[Fuente: Elaboración Propia]



## **1.4 DEFINICIÓN DE OBJETIVOS**

### **1.4.1 Objetivo General**

Desarrollar un sistema experto para el diagnóstico del cáncer tiroideo, que coadyuve al especialista, de forma que las nuevas tecnologías ingresen de manera positiva en el área de la salud, obteniendo diagnósticos precisos.

### **1.4.2 Objetivos Específicos**

- Diseñar la base del conocimiento haciendo uso de Redes Neuronales, en base a la información proporcionada por el experto humano y libros referentes al tema, considerando la incertidumbre como punto importante del dominio.
- Realizar el módulo de diagnóstico preciso del cáncer tiroideo, respetando su nivel de gravedad.
- Analizar las actividades de los procedimientos del diagnóstico en consultorios médicos
- Obtener diagnósticos satisfactorios para cada uno de los pacientes evaluados, respetando la opinión final del especialista humano.
- Desarrollar los módulos del sistema Experto codificados en un lenguaje de programación y motor de base de datos estructurado, haciendo que todo lo referente a cada paciente sea almacenado de manera digital.

## 1.5 HIPÓTESIS

El modelo de Redes Neuronales Artificiales (R.N.A.) permite que el Sistema Experto diagnostique el cáncer Tiroidal con una confiabilidad del 90%, sirviendo de ayuda al especialista e incrementando la precisión y rapidez en el diagnóstico.

### 1.5.1 Operacionalización de Variables

Se pueden distinguir 2 tipos de variables principales: La variable independiente  $V_i$  (Aquella cuyo valor no depende del de otra variable) y la variable dependiente  $V_d$  (aquella cuyos valores dependen de los que tomen otra variable). Donde se ve la siguiente relación.



**$V_i$ :** Sistema experto para el diagnóstico del cáncer tiroideo (Toma en cuenta el tiempo en el proceso del diagnóstico).

**$V_d$ :** Diagnóstico Satisfactorio (Conformidad del paciente)

**$V_{int}$ :** Redes Neuronales (Depende de árboles de conocimiento)

**Tabla 1. 2: Identificador de Variables**

Concepto	Tipo de Variable	Indicador	Dimensión	Instrumento
Sistema Experto para el diagnóstico del cáncer tiroideo	Variable independiente, utilizada para determinar el campo de estudio.	- Usabilidad de interfaz.  - Por ciento de confiabilidad.	- Interfaz de usuario.  - Medio para la administración del conocimiento.	- Pruebas  - Experimento

Diagnóstico Satisfactorio	Variable Dependiente, resulta de la base de conocimientos.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Número de síntomas.</li> <li>- Grado de afección</li> <li>- Índice pruebas del síntoma.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Síntomas</li> <li>- Enfermedad</li> <li>- Tratamiento</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Observación</li> <li>- Experimento</li> </ul>
Redes Neuronales	Variable Intermedia, utilizada para la elaboración de la base de conocimiento.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Número de conceptos.</li> <li>- Número de reglas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Conceptos</li> <li>- Reglas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Observación</li> <li>- Experimento</li> </ul>

[Fuente: Elaboración Propia]

## 1.6 JUSTIFICACIÓN

### 1.6.1 Justificación Económica

El gran avance tecnológico que se ha dado en los últimos tiempos, posibilita que los procesos y recursos se manejen de forma más eficiente, generando herramientas que eviten tener pérdidas materiales y económicas procurando maximizar los ingresos.

El sistema experto propuesto reducirá el tiempo en el diagnóstico del cáncer tiroideo, brindando una atención oportuna a cada paciente, además de atraer más pacientes y generar prestigio por la confianza que se brinda, lo cual generara más y mejores ingresos.

## **1.6.2 Justificación Social**

La presente tesis se justifica socialmente porque pretende brindar una mejor atención a los pacientes y tener un margen mínimo de error, además de ayudar al área de la salud a elaborar un diagnóstico para el cáncer tiroideo, más oportuno y confiable. A la vez el sistema propuesto beneficiará indirectamente a los estudiantes de la carrera de medicina.

## **1.6.3 Justificación Científica**

Los costos económicos y las complicaciones potenciales siempre presentes en cualquier enfermedad, nos lleva a buscar el mayor número de información para decidir el tratamiento más acertado para cada paciente, así como el debido conocimiento que debe poseer todo paciente respecto a los riesgos que puede conllevar todo procedimiento médico y que estos datos deben ser otorgados en el marco del conocimiento.

## **1.7 ALCANCES Y LÍMITES**

### **1.7.1 Alcances**

- El prototipo presentará una interfaz sencilla y amigable orientada para que pueda ser manipulado por el médico responsable.
- El sistema experto proporcionará diagnóstico a pacientes que padecen de cáncer tiroidal.
- Se realizará el diagnóstico por medio de preguntas, evaluando el nivel de gravedad de los síntomas presentados por el paciente, brindando un tratamiento óptimo.
- El sistema podrá ser utilizado en cualquier centro de salud.

### **1.7.2 Límites**

- El sistema no tomará en cuenta teorías no comprobadas sobre el cáncer tiroidal, se basará en la teoría de los libros y los conocimientos del especialista referentes al tema.
- El sistema experto no proporcionará la descripción de las causas del cáncer tiroideo.
- El sistema experto no presentará una interfaz gráfica amigable para un usuario externo, por tratarse del área de medicina.
- El sistema experto no brindará el diagnóstico final, coadyuvará al especialista, siendo una herramienta útil.

## **1.8 APORTES**

### **1.8.1 Práctico**

La construcción de un prototipo de sistema experto para el diagnóstico del cáncer tiroidal, el mismo que coadyuvará al médico especialista en el proceso de diagnóstico y brindará un tratamiento de acuerdo al nivel de gravedad.

Este trabajo podrá incentivar a la investigación del cáncer tiroideo, generando nuevas formas de diagnóstico, análisis y tratamiento de la enfermedad.

### **1.8.2 Teórico**

Este trabajo proporciona un modelo, que ayudará en el área de medicina, la construcción de un sistema para el diagnóstico del cáncer tiroideo existente en la sociedad, da a conocer las consecuencias y proporciona un tratamiento adecuado.

El sistema propuesto servirá de apoyo a la toma de decisiones para los médicos especialistas, presenta una referencia y base para futuras investigaciones.

## 1.9 METODOLOGÍA

Para el desarrollo de los Sistemas Expertos, existen varias metodologías de desarrollo. Como ya sabemos el área de sistemas expertos es relativamente joven por lo cual no se dispone de una única metodología sino que cada autor propone una de acuerdo a su forma de desarrollo. Sin embargo existen algunas que han tenido éxito más que otras lo cual ha llevado a su mayor difusión.

Aquí mencionaremos algunas de tantas metodologías:

- ◆ Metodología de Buchanan
- ◆ Metodología de Grover
- ◆ Metodología de Brule
- ◆ Metodología de Blanque y García Martínez
- ◆ Metodología KADS
- ◆ Ingeniería del Software entre otros

### 1.9.1 Metodología de Buchanan

En el presente trabajo de investigación se utilizará la metodología de Buchanan que hace referencia a una serie de fases para producir un Sistema Experto, de las cuales seis son fundamentales:

***Fase 1: Identificación.*** Fase mediante la que se reconocen aspectos importantes del problema, como son los participantes (expertos del dominio, ingenieros del conocimiento y futuros usuarios), las características del problema (tipo, sub tareas de que se compone,

terminología a utilizar, aspectos fundamentales y otros), los recursos disponibles (fuentes de conocimiento, facilidades computacionales, tiempo de desarrollo y financiación), y las metas a alcanzar (formalizar conocimiento experto, distribuir experiencia, ayudar a la formación de nuevos expertos, y más).

**Fase 2: Conceptualización.** Fase mediante la que se trata de organizar el conocimiento según un esquema conceptual. El experto y el ingeniero del conocimiento tratan de encontrar conceptos que representen el conocimiento del experto, al mismo tiempo que intentan determinar cómo es el flujo de información durante el proceso de resolución de problemas.

**Fase3: Formalización.** Esta fase consiste en traducir los conceptos clave, los sub problemas, y las características del flujo de información, identificados durante la fase anterior, en representaciones formales basadas en herramientas o esquemas de la ingeniería del conocimiento.

**Fase 4: Elicitación.** Aunque no aparece en el trabajo original de Buchanan, es común incluir una fase de Elicitación después de la fase de formalización. En esta fase se lleva a cabo la extracción del conocimiento mediante un soporte físico que es consistente con la información obtenida durante los procesos de identificación y conceptualización.

**Fase 5: Implementación.** En esta fase, el ingeniero de conocimiento formula reglas, y estructuras de control, que representan los conceptos y el conocimiento formalizado. El resultado es un programa prototipo que nos permite comprobar si hemos conceptualizado y formalizado bien el conocimiento que el experto tiene sobre el problema.

**Fase 6: Prueba.** Esta fase consiste en la evaluación del rendimiento del prototipo construido para encontrar errores o anomalías en la base de conocimientos o en los mecanismos de inferencia.

Buchanan sitúa los lazos de realimentación después de la fase de prueba, pero también indica que el proceso no tiene por qué seguir una secuencia estricta. Autores posteriores, como Mayrhauser, señalan que las retroalimentaciones pueden aparecer entre cualquier par de fases de la metodología. Así, por ejemplo, si el ingeniero del conocimiento no encuentra reglas adecuadas durante la implementación puede requerir una vuelta atrás y una reformulación del problema. La nueva representación del ciclo de vida de los sistemas inteligentes sería otro tipo de red, una red completamente comunicada.

### 1.9.2 El Perceptrón Simple

En cuanto a los sistemas utilizados en el trabajo, se eligió como tipo de red neuronal, el llamado **Perceptrón**. También denominado mapeo de patrones (*pattern-mapping*), aprende a clasificar modelos mediante un aprendizaje supervisado. Los modelos que clasifica suelen ser generalmente vectores con valores binarios (0,1) y las categorías de la clasificación se expresan mediante vectores binarios.

**Figura 1. 2: Perceptrón**



[Fuente: Dayhoff, 1990]

La estructura de un Perceptrón sencillo es similar a la del elemento general de procesamiento que se muestra en la figura 1.2; en la que se observa la adición de una condición umbral en la salida. Si la entrada neta a esta condición es mayor que el valor umbral, la salida de la red es 1, en caso contrario es 0.



## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1 INTRODUCCIÓN**

Este capítulo hace referencia a los conceptos más relevantes utilizados dentro del Sistema Experto, Redes Neuronales y Cáncer Tiroideo.

#### **2.2 INTELIGENCIA ARTIFICIAL**

La Inteligencia Artificial (IA) es la rama de las Ciencias de la Computación que estudia el software y hardware necesarios para simular el comportamiento y comprensión humanos. El objetivo último de la IA es simular la inteligencia humana en una máquina creando robots que sean conscientes y con sentimientos reales, similares a los humanos. Uno de los problemas más difíciles es la simulación de la conciencia, cualidad humana que hace que nos demos cuenta de nuestra propia existencia.

La investigación en IA pretendía simular capacidades humanas como la visión o el razonamiento. Los países desarrollados dedicaron gran cantidad de medios materiales y humanos a la IA. En amplios círculos científicos se daba por hecho que todo fenómeno era posible expresarlo computacionalmente, corriente de investigación que se llamará más tarde IA fuerte; esta defendía que los ordenadores superarían a los humanos en todos los órdenes, y que la conciencia tenía carácter computacional.

El propósito de la IA es hacer computacional el conocimiento humano por procedimientos simbólicos o conexionistas.

Se corresponden con los dos paradigmas de la IA:

- IA clásica o simbólica: programable y basado en el supuesto del conocimiento explicable por procedimientos de manipulación de símbolos.
- IA conexionista: autoprogramable por aprendizaje y donde el conocimiento viene representado la propia estructura de la red neuronal

El gran problema de la IA es la representación del conocimiento

### 2.2.1 Categorías de la Inteligencia Artificial

Stuart Russell y Peter Norvig diferencian estos tipos de la inteligencia artificial:

- **Sistemas que piensan como humanos.**- Estos sistemas tratan de emular el pensamiento humano; por ejemplo las redes neuronales artificiales. La automatización de actividades que vinculamos con procesos de pensamiento humano, actividades como la Toma de decisiones, Resolución de problemas y aprendizaje.
- **Sistemas que actúan como humanos.**- Estos sistemas tratan de actuar como humanos; es decir, imitan el comportamiento humano; por ejemplo la robótica. El estudio de cómo lograr que los computadores realicen tareas que, por el momento, los humanos hacen mejor.
- **Sistemas que piensan racionalmente.**- Es decir, con lógica (idealmente), tratan de imitar o emular el pensamiento lógico racional del ser humano; por ejemplo los sistemas expertos. El estudio de los cálculos que hacen posible percibir, razonar y actuar.

- **Sistemas que actúan racionalmente (idealmente).** – Tratan de emular de forma racional el comportamiento humano; por ejemplo los agentes inteligentes. Está relacionado con conductas inteligentes en artefactos.

### **2.3 SISTEMA EXPERTO.**

Los sistemas expertos son una rama de la Inteligencia Artificial que hace un amplio uso del conocimiento especializado para resolver problemas como un especialista humano<sup>2</sup>. El conocimiento de los sistemas expertos puede obtenerse por experiencia o consulta de los conocimientos que suelen estar disponibles en los medios exteriores (introducidos por un experto, libros, etc.); es permitido llamar a un sistema experto como sistema basado en conocimiento o sistema experto basado en conocimiento.

Según (RUIZ, 2005) los sistemas expertos se deben realizar siguiendo ciertas reglas o pasos simples y específicos tanto que sean comprensibles y con eso de una u otra manera se pueda generar la explicación de temas que solo los expertos puedan explicar, es por eso que se pueden considerarse como intermediarios entre el experto humano que transmite su conocimiento al sistema y el usuario que lo utiliza para resolver un problema con la eficacia del especialista, para lograr esto el sistema experto utilizará el conocimiento que tenga almacenado. Un sistema experto puede ir creciendo su conocimiento, esto es, pueden llegar a generar nuevos conocimientos basados en conocimientos anteriores y llegar al grado de justificar su propia línea de razonamiento ayudando totalmente a la toma de decisiones.

La función de un sistemas experto es la de aportar soluciones a problemas, como si de humanos se tratara, es decir, capaz de mostrar soluciones inteligentes. Es posible gracias a que al sistema lo crean con expertos (humanos), que intentan estructurar y formular conocimientos poniéndolos a disposición del sistema, de igual forma que lo hubiera hecho

---

<sup>2</sup> El especialista humano es una persona que tiene conocimiento o habilidades especiales para resolver problemas que ciertamente no se resuelven tan fáciles y además los realiza con eficiencia en un área determinada.

un experto el sistema experto accede a los conocimientos adquiridos por experiencia, está en una de sus funciones más difíciles, ya que los expertos, al igual que otras personas, apenas lo reconocen como tales.

Los sistemas expertos se aplican por norma general en problemas que implican un procedimiento basado en el conocimiento. Un procedimiento de solución basado en el conocimiento comprende las siguientes capacidades:

- ✓ Utilización de normas o estructuras que contengan conocimiento y
- ✓ experiencias de expertos especializados.
- ✓ Deducción lógica de conclusiones.
- ✓ Capaz de interpretar datos ambiguos.
- ✓ Manipulación de conocimientos afectados por valores de probabilidad.

En la tabla 2.1 se muestra una comparación entre un experto humano y un sistema experto donde se puede ver como el SE es por mucho mejor que un experto humano.

**Tabla 2. 1: Comparación de un sistema experto contra un experto humano.**

<b>Experto Humano</b>	<b>Sistema Experto</b>
No perdurable	Permanente
Difícil de transferir	Fácil de transferir
Difícil de documentar	Fácil de documentar
Impredecible	Consistente
Caro	Alcanzable
Experiencia personal	Entrada simbólica
Conocimiento del sentido común	Conocimiento técnico

Como se puede observar el sistema experto puede ser más conveniente de usar y es más fácil de entender, esta hace una ventaja significativa de usar un sistema experto.

### **2.3.1 Tipos de Sistemas Expertos.**

Los sistemas expertos siempre tratan de estar en contacto con las personas ya sean los usuarios finales como pueden ser doctores, ingenieros, militares y muchos más o bien los expertos que ayudan a su construcción pero en cualquiera de los casos siempre tienen que seguir a la naturaleza del sistema experto.

Considerando algunos tipos de sistemas expertos para (PIGNANI, 1998) existen:

- **Sistemas expertos basados en reglas**

Se caracterizan por trabajar mediante la aplicación de ciertas reglas para ello tienen que ir comparando resultados para poder aplicar una serie de nuevas reglas basadas en situación modificada, esto es, el sistema tiene reglas ya definidas donde en base a ellas genera resultados pero esos mismo resultados los compara con nuevas reglas que van surgiendo por el paso del tiempo, para que los resultados se tengan actualizados se someten a esas nuevas reglas. También pueden trabajar por inferencia lógica dirigida, esto se explica bien empezando con una evidencia inicial en una determinada situación y dirigiéndose hacia la obtención de una solución, o bien con hipótesis sobre las posibles soluciones y volviendo hacia atrás para encontrar una evidencia existente (o una deducción de una evidencia existente) que apoye una hipótesis en particular.

Los sistemas expertos deterministas basados principalmente en reglas tiene una función, el estado actual que puede tener esté SE depende del estado anterior para poder llegar a una conclusión necesita de acciones que se encuentran en el entorno, esto sucede cuando el usuario interactúa con el sistema y pueden ser formulados usando un conjunto de reglas que

relacionen varios objetos bien definidos, un claro ejemplo de las reglas que pueden usar son los cuestionarios que utiliza un nutriólogo para poder llegar a una conclusión de que le conviene al paciente (hacer una dieta de grasas) es por eso que su razonamiento es lógico.

Como ejemplo de sistema que trabaja con éste tipo de SE es:

**MYCIN**<sup>3</sup>.- Fue diseñado a mediados de los años setenta por Edgar ShortLiffe, en la Universidad de Stanford. Fue escrito en Lisp, e inicialmente estaba inspirado en Dendral, otro sistema experto que tuvo cierto éxito a finales de los años 60. Su principal función consistía en el diagnóstico de enfermedades infecciosas de la sangre; además, Mycin era capaz de “razonar” el proceso seguido para llegar a estos diagnósticos, y de recetar medicaciones personalizadas a cada paciente (según su estatura, peso y otros factores).

Es un sistema interactivo que diagnostica infecciones bacterianas y suministra la terapia de antibióticos. MYCIN representa el razonamiento experto como una serie de reglas condición - conclusión, que relacionan los datos del paciente con hipótesis de infección y al tiempo estiman la certeza de cada regla. Trabaja hacia atrás con diagnosis hipotética, empleando reglas para estimar los factores de certeza de las conclusiones basadas en los factores de certeza de su historial para comprobar si la evidencia apoya la diagnosis. Si no hay información suficiente para comprobar la hipótesis, pedirá al médico datos adicionales y evaluarán en forma exhaustiva todas las hipótesis. Cuando ha finalizado, MYCIN da los tratamientos para todas aquellas diagnosis que han alcanzado un alto valor de certeza.

- **Sistemas expertos basados en casos**

Es un sistema donde tiene un proceso de solucionar nuevos problemas basándose en las soluciones de problemas anteriores.

---

<sup>3</sup> Sistema experto para diagnosticar enfermedades de medicina

El Razonamiento basado en casos es una manera de razonar haciendo ciertas similitudes es por eso que se argumenta que el razonamiento basado en casos es más que un método que puede solucionar problemas cotidianos; para poder hacerlo necesita de un proceso el cual es:

1. Recordar: Dado un determinado problema, recordar los casos relevantes que pueden solucionarlo. Un caso consiste en un problema, una solución y típicamente anotaciones sobre como la solución fue llevada a cabo.
2. Reutilizar: Adaptar la solución del problema anterior a uno nuevo. Como casos anteriores que me ayudaron a resolver algún problema como puede adaptarlos a un nuevo caso.
3. Revisar: Una vez adaptado el problema probar la solución en el mundo real o en una simulación y si es necesario revisarla.
4. Retener: Después de que la solución ha sido adaptada satisfactoriamente para solucionar el problema dado, almacenar la experiencia resultante como un nuevo caso en la memoria.

Los razonamientos basados en casos, son sistemas en los que existe incertidumbre, es por eso que se necesita de la creación de un sistema experto para poder llegar a una conclusión justificada.

- **Sistemas expertos basados en situaciones probabilísticas**

Una red bayesiana es un modelo probabilístico multivariado que relaciona un conjunto de variables aleatorias mediante un grafo dirigido que indica explícitamente influencia causal. Gracias a su motor de actualización de probabilidades las redes bayesianas son una herramienta extremadamente útil en la estimación de probabilidades, pueden llegar a trabajar en la búsqueda de datos que representen un valor (los porcentajes de estudiantes

que aprueban sus exámenes, la cantidad de misiles que aciertan el blanco en el primer intento, una muestra de las personas que consumen carbohidratos en exceso).

Además son usadas en distintas aplicaciones tales como:

- ✓ Prevención del fraude.
- ✓ Prevención del abandono de clientes.
- ✓ Blanqueo de dinero.
- ✓ Estimación de cuentas.
- ✓ Representación de ventas.
- ✓ Porcentajes, muestras, comparaciones, entre muchas otras aplicaciones.

Para poder representar como se están divididos los sistemas expertos en la Figura 2.1 se muestra bien la estructura según la situación del problema.

**Figura 2. 1: Muestra cómo se divide los sistemas expertos.**



[Fuente: PIGNANI, 1998]



Como se observa cada parte de los sistemas expertos pertenece a un tipo de situación alguna determinada por hechos como son las situaciones deterministas y otra que no se puede conocer del todo como son las situaciones inciertas.

### **2.3.2 Elementos de un Sistema Experto**

Un Sistema Experto como tal debe estar bien estructurado ya que su trabajo es muy difícil a continuación se muestra las partes principales de un sistema experto según (PIGNANI, 1998):

#### **2.3.2.1 Base de Conocimiento**

Aquí se encuentran los conocimientos del experto humano, en forma ordenada y estructurada, el tipo de conocimiento es permanente en el sistema.

Pueden existir tres tipos de conocimiento, el primero de ellos son las reglas, aquellas que se forman a partir de oraciones condicionales como un simple “if” “else” que existe en programación o un “si” “no” que existe en los árboles de decisión; otro tipo de conocimiento son las afirmaciones y respuestas que son aquellas estructuras que engloban conocimiento predecible; y el último tipo de conocimiento son los hechos, estos son sucesos lógicos, cotidianos que pasan en la vida real.

#### **2.3.2.2 Motor de Inferencia**

Es la unidad lógica con la que se extraen conclusiones de la base de conocimiento procesando el conocimiento, es como el corazón del sistema experto, trabaja de la siguiente manera, teniendo la base de conocimiento completa es necesario ser ejecutada por un mecanismo de razonamiento y un control de búsqueda para resolver problemas. Éste mecanismo es la unidad lógica con la que se extraen conclusiones de la base de

conocimientos entonces el motor de inferencia toma los hechos y los conocimientos para obtener nuevas conclusiones o hechos.

Las principales funciones del motor de inferencia son:

1. Determinación de las acciones que tendrá lugar, el orden en que lo harán y como lo harán entre las diferentes partes del sistema experto.
2. Determinar cómo y cuándo se procesaran las reglas, y dado el caso también la elección de que reglas deberán procesarse.
3. Control de dialogo con el usuario.

#### **2.3.2.3 Base de Hechos**

Memoria temporal de trabajo. Contiene información sobre el problema particular que el sistema experto debe resolver.

#### **2.3.2.4 Interfaz de Usuario**

Comunicación entre el sistema experto y el usuario final por ello es necesario mostrar y obtener información de forma clara, fácil y agradable, sirve para que se pueda realizar una consulta en un lenguaje lo más natural posible. Éste componente es la forma en la que el sistema se presenta ante el usuario.

Requisitos o características de la interface que se presenta al usuario al desarrollar el sistema experto:

- 1.- Manejo rápido.
2. Debe evitarse en lo posible la entrada de datos erróneos.
3. Los resultados deben presentarse en una forma clara para el usuario.

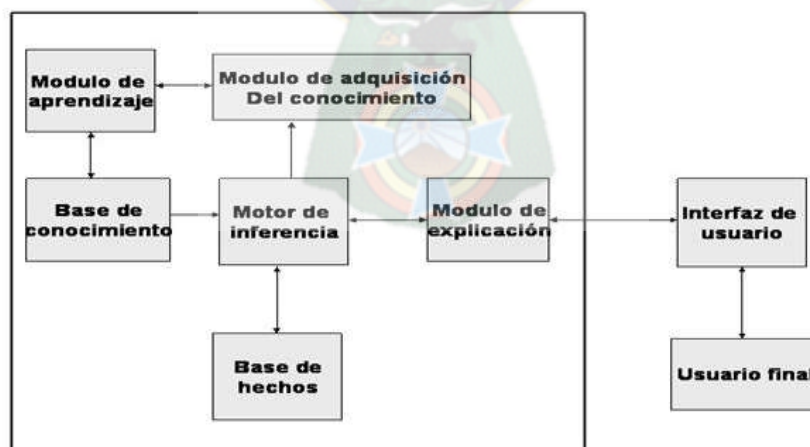
4. Las preguntas y explicaciones deben ser comprensibles.

### 2.3.2.5 Modo de Explicación

Explica al usuario la estrategia de solución encontrada y el porqué de las decisiones tomadas las soluciones descubiertas por los expertos deben poder ser repetibles, esto es, las conclusiones deben de ser congruentes, exactas, congruentes, exacta en los resultados. El usuario puede pedir explicación de las conclusiones obtenidas o de las acciones que realiza el sistema experto. Por ello es que el sistema necesita de un componente que explique el proceso que realiza el motor de inferencia.

En la figura 2.2 se puede ver con claridad cada una de las partes con las que un sistema experto está integrado, llegando así hasta cómo interactúan con el usuario final, es muy importante ver que el usuario final se comunica con el sistema experto en base a una interfaz de usuario, esta interfaz debe ser lo más amigable posible para facilitar en uso del sistema experto y que el usuario final no tenga ningún problema cuando esté trabajando con el sistema experto.

**Figura 2. 2: Estructura de un Sistema Experto.**



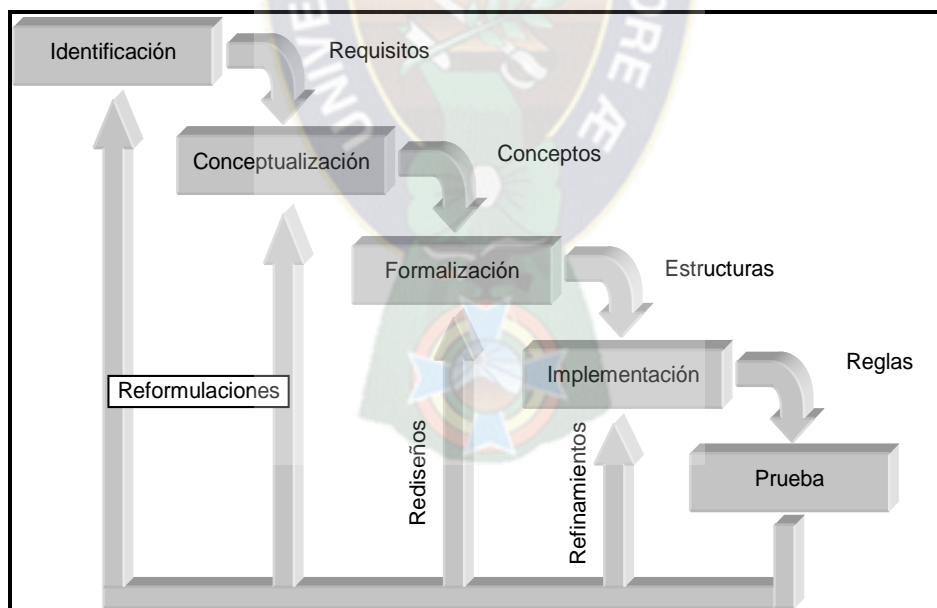
[Fuente: RILEY, 2000]

Como se ve en la figura anterior existen dos módulos dentro del sistema experto los cuales tienen que ver con el aprendizaje y conocimiento del sistema, es en esta parte donde el sistema experto puede hacer las interacciones posibles con el motor de inferencia y la base de hechos para poder hacer sus conclusiones o dar su toma de decisiones, explicando todo con el módulo de explicación.

## 2.4 METODOLOGÍA DE DESARROLLO DE BUCHANAN

Uno de los primeros métodos de desarrollo estructurado de sistemas inteligentes fue el propuesto por Buchanan y otros autores en 1983. Según estos autores la adquisición del conocimiento de un sistema inteligente, y por extensión la construcción de todo el sistema, podía dividirse en las cinco fases de la figura: identificación, conceptualización, formalización, implementación y prueba.

**Figura 2. 3: Fases de la Metodología Buchanan**



**Fuente:** [Moret, 2005]

Sin embargo el proceso real no está tan bien definido como puede sugerir la figura anterior, y más bien representa una aproximación a las distintas y complejas fases que se llevan a cabo a la hora de desarrollar un sistema inteligente, y que pueden variar de una situación a otra.

### A. Fases <sup>4</sup>

La descripción de cada una de estas fases es la siguiente:

**Fase 1: Identificación.** Fase mediante la que se reconocen aspectos importantes del problema, como son los participantes (expertos del dominio, ingenieros del conocimiento y futuros usuarios), las características del problema (tipo, sub tareas de que se compone, terminología a utilizar, aspectos fundamentales, etc.), los recursos disponibles (fuentes de conocimiento, facilidades computacionales, tiempo de desarrollo, financiación, etc.), y las metas a alcanzar (formalizar conocimiento experto, distribuir experiencia, ayudar a la formación de nuevos expertos, etc.).

**Fase 2: Conceptualización.** Fase mediante la que se trata de organizar el conocimiento según un esquema conceptual. El experto y el ingeniero del conocimiento tratan de encontrar conceptos que representen el conocimiento del experto, al mismo tiempo que intentan determinar cómo es el flujo de información durante el proceso de resolución de problemas.

**Fase3: Formalización.** Esta fase consiste en traducir los conceptos clave, los sub problemas, y las características del flujo de información, identificados durante la fase anterior, en representaciones formales basadas en herramientas o esquemas de la ingeniería del conocimiento.

---

<sup>4</sup> Moret, V. Validación y Usabilidad De Sistemas Informáticos. 2005. Pág. 11- 13

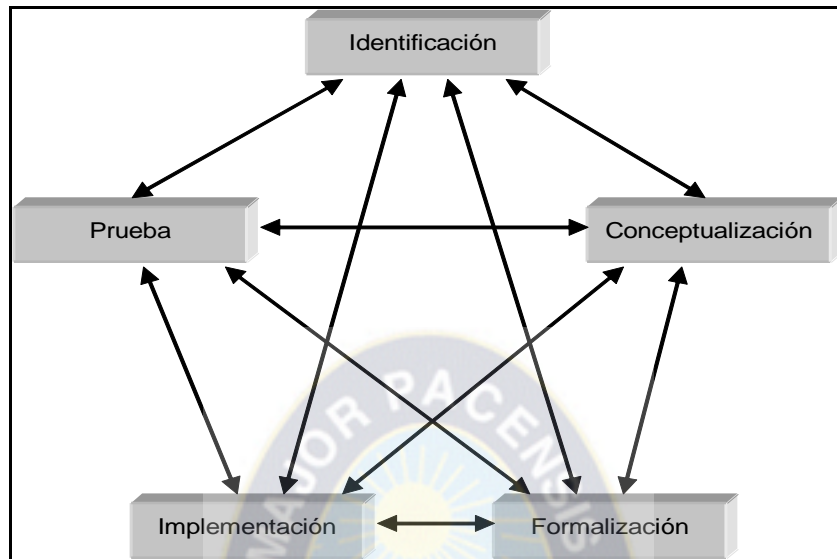
**Fase 4: Elicitación.** Aunque no aparece en el trabajo original de Buchanan, es común incluir una fase de Elicitación después de la fase de formalización. En esta fase se lleva a cabo la extracción del conocimiento mediante un soporte físico que es consistente con la información obtenida durante los procesos de identificación y conceptualización.

**Fase 5: Implementación.** En esta fase, el ingeniero de conocimiento formula reglas, y estructuras de control, que representan los conceptos y el conocimiento formalizado. El resultado es un programa prototipo que nos permite comprobar si hemos conceptualizado y formalizado bien el conocimiento que el experto tiene sobre el problema.

**Fase 6: Prueba.** Esta fase consiste en la evaluación del rendimiento del prototipo construido para encontrar errores o anomalías en la base de conocimientos o en los mecanismos de inferencia.

Buchanan sitúa los lazos de realimentación después de la fase de prueba, pero también indica que el proceso no tiene por qué seguir estrictamente la secuencia representada en la figura anterior. Autores posteriores, como Mayrhauser, señalan que las retroalimentaciones pueden aparecer entre cualquier par de fases de la metodología. Así, por ejemplo, si el ingeniero del conocimiento no encuentra reglas adecuadas durante la implementación puede requerir una vuelta atrás y una reformulación del problema. La nueva representación del ciclo de vida de los sistemas inteligentes sería tal y como se presenta en la siguiente figura, una red completamente comunicada.

**Figura 2. 4: Fases de la Metodología**



**Fuente:** [Moret, 2005]

Las estructuras de este tipo son muy complejas de controlar y de manejar, ya que el número de iteraciones entre las fases es desconocido, y los objetivos pueden cambiar a medida que avanza el desarrollo. También es difícil llevar a cabo un control de los progresos realizados.

- **Síntesis Del Método De Buchanan**

**Tabla 2. 2: Comparación de Metodologías**

F A S E  1	Identificación	Seleccionar al experto, fuentes y medios de conocimiento y clara definición del problema
	Conceptualización	Encontrar los conceptos claves y las relaciones necesarias para

		caracterizar el problema.
F	Formalización	reformulación permanente de
A		conceptos, rediseño de la forma de
S	Implementación	representación, refinamiento del
E		sistema implementado, críticas y
2	Control	sugerencias de los expertos permiten una mejora y un control del funcionamiento del sistema

Fuente: [Moret, 2005]

## B. Etapas <sup>5</sup>

Este método puede esquematizarse en seis etapas:

### **Etapa 1: Familiarizarse con el Problema y el Dominio.**

Abarca Buscar el problema 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.

### **Etapa 2: Delimitar el Sistema.**

El objetivo es 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.

<sup>5</sup> Curcuy, P. Sistemas Expertos De Diagnóstico, Monitoreo y Control Para El Desarrollo Integral de Niños con Retraso Mental. Universidad Salesiana. Bolivia. 2005. Pág. 48-51.



### **Etapa 3: 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, 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.

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 sub tarea y si ese orden varía según el caso. La estructura del conocimiento indica que tareas y términos está usando y la estrategia indica cómo y cuando el sistema experto debe establecerlas.

### **Etapa 4: Definir el Sistema Experto Prototipo.**

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.

El ingeniero de conocimiento deberá a medida que se desarrolla el prototipo, 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.

### **Etapa 5: Depurar el Sistema 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.

### **Etapa 6: Optimizar el Sistema Experto Prototipo.**

Cuando el sistema prototipo ha crecido tanto que resulta difícil de manejar el ingeniero de conocimiento rediseña un sistema más eficiente. Este nuevo sistema deberá refinarse y extenderse a fin de completar así el desarrollo del sistema experto. Esto es transformar efectivamente el sistema prototipo en un sistema experto aplicable.

## **2.5 REDES NEURONALES**

Se estima que el cerebro humano contiene más de cien mil millones de **neuronas** y **sinápsis** en el sistema nervioso humano. Estudios sobre la anatomía del cerebro humano concluyen que hay más de 1000 sinápsis a la entrada y a la salida de cada neurona. Es importante notar que aunque el tiempo de conmutación de la neurona (unos pocos milisegundos) es casi un millón de veces menor que en las actuales elementos de las computadoras, ellas tienen una conectividad miles de veces superior que las actuales supercomputadoras.

### **2.5.1 Neurona Biológica**

La teoría y modelado de redes neuronales artificiales está inspirada en la estructura y funcionamiento de los sistemas nerviosos, donde la neurona es el elemento fundamental,

con una propiedad principal, la excitabilidad o capacidad de responder a cualquier modificación del ambiente mediante señales bioeléctricas<sup>6</sup>. El propósito del sistema nervioso es el realizar tareas principalmente de coordinación y control del cuerpo humano y otras de tipo cognoscitivo<sup>7</sup> como reconocer un rostro familiar, hablar, comprender el lenguaje y recuperar contextualmente información apropiada desde la memoria [Antrás et. al., 1998].

El Cerebro es la porción del sistema nervioso central de los vertebrados contenida dentro del cráneo. El cerebro es una masa de tejido gris-rosáceo que se estima está compuesta por unos 100.000 millones de células nerviosas o neuronas, conectadas unas con otras, aproximadamente 1015 conexiones, y responsables del control de todas las funciones mentales. También se encarga de recibir e interpretar las innumerables señales que le llegan desde el organismo y el exterior [Dihigo & Menéndez, 1987].

Las neuronas son el elemento más importante del sistema nervioso en el ser humano, pues a pesar de contener los mismos elementos que cualquier otra célula biológica, contiene además elementos característicos que la diferencian, como la forma de conexión entre ellas formando lo que denominamos cerebro, la reacción a pequeñas descargas electroquímicas, y otras características morfológicas como se estudia a continuación [Hilera & Martinez, 2000].

### **2.5.1.1 Estructura de la Neurona**

Una neurona consta de un cuerpo celular más o menos esférico, de 5 a 10 micras de diámetro, del que salen ramas cortas llamadas dendritas, un cuerpo celular llamado soma, y una rama principal de salida llamada axón, de 0,1 mm a 1 mm. A su vez, el axón contiene

---

<sup>6</sup> Se refiere a un impulso eléctrico transmisible entre neuronas.

<sup>7</sup> Como por ejemplo, el entendimiento del lenguaje, la visión, etc.

ramas llamadas terminales axónicas. Todas estas ramas son las que relacionan las células con otras neuronas [Dihigo & Menéndez, 1987].

Las dentritas reciben señales de entrada, el cuerpo celular las combina e integra y emite señales de salida mediante el axón, quien transporta esas señales a los terminales axónicos, que se encargan de distribuir esta señal a un nuevo conjunto de neuronas [Hilera & Martinez, 2000].

Analizando el cerebro humano, se observó que existe una interacción entre neuronas de tipo bioeléctrico<sup>8</sup>, es decir que el cerebro es quien recibe los impulsos sensoriales del organismo a través de fibras que le llegan por medio del tálamo y envía las respuestas motoras. Mediante las neuronas el cerebro almacena información distribuida en un grupo de neuronas [Antrás et. al., 1998].

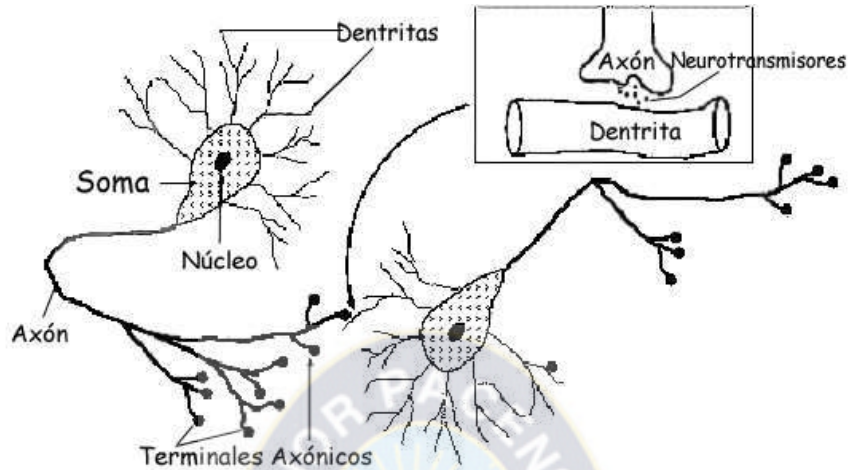
Cada neurona tiene una cierta concentración de los iones sodio y potasio a cada lado de la membrana, produciendo un potencial de aproximadamente 70 milivoltios<sup>9</sup>. Las neuronas se conectan unas con otras mediante una unión llamada sinapsis. La sinapsis es la zona de contacto entre los terminales axónicos de una neurona y las dentritas de otra neurona. Aquí una sustancia química transmite las señales bioeléctricas de una extremidad del axón a la dentrita de otra neurona, que tiene la función de receptor [Antrás et. al., 1998],

---

<sup>8</sup> Se refiere a que la señal emitida por una neurona es de naturaleza química, misma que es transportada mediante un impulso eléctrico que la misma neurona emite.

<sup>9</sup> Este potencial se llama potencial de reposo de la célula nerviosa.

**Figura 2. 5: Estructura de una neurona biológica**



Fuente: [Antrás et. al., 1998]

Cuando llega una señal a los terminales axónicos se liberan neurotransmisores, que son una sustancia química que interviene en la producción de impulsos nerviosos en las uniones sinápticas. Éstos provocan una despolarización que se realimenta y se transmite a las regiones vecinas, por lo que se podría decir que las señales procedentes de otras neuronas actúan acumulativamente. Si la acumulación del potencial supera un umbral, se produce un disparo por el axón, provocando disminuciones del potencial en la membrana de la neurona (sinapsis de excitación), es cuando comienza una entrada masiva de iones de sodio que invierten la polariza de la membrana. Caso contrario la sinapsis tiene un efecto negativo (sinapsis de inhibición), que estabiliza el potencial de la membrana [Hilera & Martinez, 2000].

### **2.5.2 Neurona Artificial**

Una neurona artificial, pretende simular el modelo y las características más importantes de la neurona biológica; es una unidad de procesamiento constituido por el núcleo, uno o varias entradas y una salida. Las entradas que representan señales que provienen de otras neuronas, el núcleo es el encargado de proporcionar un valor de salida basado en una

función umbral que la neurona debe sobrepasar para activarse. La salida normalmente se conecta a otras neuronas. La transmisión sináptica es trasladada dentro los números reales, donde a cada entrada se le multiplica un valor llamado peso antes de ingresar enteramente al núcleo [BASOGAIN, 2003].

Una neurona es el elemento fundamental para la construcción de cualquier modelo de red neuronal. A partir de ellas, se pueden generar representaciones específicas, de tal forma que un estado conjunto de ellas puede significar una letra, un número o cualquier otro objeto [Hilera & Martinez, 2000].

### 2.5.2.1 Tipos de Neuronas

Según [Hilera & Martinez, 2000] se pueden encontrar tres tipos de neuronas.

- Las unidades de entrada, que reciben señales (información de entrada) desde el entorno ya sea de sensores o de otros sectores del sistema.
- Dicha información se transmite a ciertos elementos internos que se ocupan de su procesado. Es en la sinapsis y neuronas correspondientes a este segundo nivel donde se genera cualquier tipo de representación interna de la información. A estos elementos se los llama unidades ocultas.
- Una vez finalizado el período de procesado, la información llega a las unidades de salida, cuya misión es dar la respuesta del sistema.

### 2.5.3 Red Neuronal Artificial

Las redes neuronales son modelos, generalmente llamados modelos conexionistas<sup>10</sup>, que intentan reproducir el comportamiento del cerebro, referente a su arquitectura y funcionamiento. Las redes neuronales están compuestas de un gran número de unidades de procesamiento conocidas como neuronas artificiales, trabajando al mismo tiempo para la solución de problemas específicos. El diseño de la red está determinado mayormente por las conexiones entre sus elementos [BASOGAIN, 2003].

Para cuestiones de comprensión se referirá a las redes neuronales artificiales como redes neuronales, omitiendo la palabra artificial.

#### 2.4.3.1 Elementos de una Red Neuronal

En la estructura interna de una red neuronal se distinguen los siguientes elementos:

- ✓ Unidades de procesamiento
- ✓ Niveles o capas
- ✓ Estado de activación
- ✓ Patrón de conectividad
- ✓ Regla de propagación
- ✓ Función de Transferencia
- ✓ Función de activación
- ✓ Regla de Aprendizaje

- **Unidades de Procesamiento**

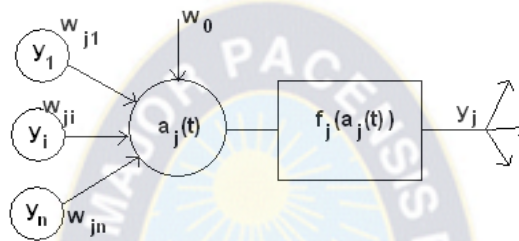
Las unidades de procesamiento, son básicamente las neuronas. Cada una está caracterizada en cualquier instante por un valor numérico denominado *estado de activación*  $a_i(t)$ ;

---

<sup>10</sup> Llamados así por la densa interconexión existente entre sus elementos procesales.

asociado a cada unidad, existe una *función de salida*  $f_i$ , que transforma el estado de activación en una *señal de salida*  $y_i$ , cuando sobrepasa un valor umbral. Dicha señal es enviada a través de los canales de comunicación unidireccionales<sup>11</sup> a otras unidades de la red; en estos canales la señal se modifica de acuerdo con la sinapsis (el peso,  $w_{ji}$ ) asociada a cada uno de ellos según una determinada regla [Hilera & Martínez, 2000].

**Figura 2. 6: Ejemplo de una unidad de proceso (neurona artificial)**



[Fuente: Cabello, 2004]

- **Niveles o Capas**

Una capa o nivel es un conjunto de unidades de procesamiento cuyas entradas provienen de la misma fuente (que puede ser otra capa de neuronas) y cuyas salidas se dirigen al mismo destino (que puede ser otra capa de neuronas). Existen tres tipos de capas de acuerdo a si tienen unidades de entrada, ocultas o de salida [Hilera & Martínez, 2000]. La información dada a la red neuronal, mediante su capa de entrada, es propagada capa tras capa hasta la capa de salida.

- **Estado de activación**

El estado de activación  $a_i(t)$  es un valor asignado a la unidad de procesamiento  $U_i$  en un tiempo  $t$ , este estado es calculado de acuerdo a ciertos criterios o reglas [Hilera & Martínez, 2000]. El estado de activación del sistema en un tiempo  $t$ , es representado vectorialmente como:

$$A(t) = (a_1(t), a_2(t), \dots, a_N(t))$$

<sup>11</sup> El axón artificial y sus terminales representan los canales de comunicación hacia otras neuronas.



Cada neurona en un determinado tiempo se encuentra en un cierto estado de activación, es decir, en reposo o excitada, a cada uno de los cuales se le asigna un valor continuo o discreto<sup>12</sup>. En notación binaria, un estado activo estaría indicado por un 1, que indicaría la emisión de un impulso por parte de la neurona; mientras un estado de reposo o pasivo está indicado por un 0. En el caso de valores discretos, se consideran valores en el intervalo [0,1] o [-1,1], siguiendo alguna función conocida, generalmente la sigmoideal [Hilera & Martinez, 2000].

- **Función de Transferencia**

La función de transferencia corresponde a una señal transmitida por cada unidad hacia otra, determinando de esta manera una conexión entre estas. Dicho de otra manera, asociado a cada unidad  $U_i$  existe una función de salida  $f_i(a_i(t))$ , que transforma el estado actual de activación  $a_i(t)$  en una señal de salida  $y_i(t)$  [Hilera & Martinez, 2000].

$$y_i(t) = f_i(a_i(t))$$

El vector que contiene las salidas de todas las neuronas en un instante  $t$  es:

$$Y(t) = (f_1(a_1(t)), f_2(a_2(t)), \dots, f_N(a_N(t)))$$

Existen cinco funciones de transferencia típicas, la función escalón, función lineal y mixta, función sigmoideal, función gaussiana y función tangente hiperbólica.

- **Patrón de conectividad**

Las conexiones que unen a las neuronas tienen asociado un peso, que es el que hace que la red adquiera conocimiento. Cada conexión entre la neurona  $i$  y la neurona  $j$  está ponderada

---

<sup>12</sup> Si es un valor discreto, normalmente se lo referencia a la notación binaria {0,1}.

por un peso  $w_{ji}$ . La matriz  $W$  de pesos refleja la influencia que la neurona  $i$  tiene sobre a neurona  $j$  [Hilera & Martinez, 2000].

Existen tres tipos de conexiones, las excitadoras de valor positivo que tiende a activar la neurona, las inhibidoras de valor negativo que tienden a desactivar la neurona y las nulas con un peso igual a cero, que indica que no hay conexión entre ambas [BASOGAIN, 2003].

- **Regla de propagación**

La regla de propagación indica el procedimiento a seguir para combinar los valores de entrada a una unidad con los pesos de las conexiones que llegan a esa unidad. Así se considera una *entrada neta* como la suma del producto de cada señal recibida  $i$  y por el valor de la sinapsis que conecta ambas neuronas  $w_{ji}$  más el peso umbral de la neurona  $j$   $w_{j0}$  [Hilera & Martinez, 2000].

$$net_j = \sum_i^N w_{ji} \cdot y_i + w_{j0}$$

- **Función de activación**

La función de activación  $F$  combina la entrada neta a la neurona ( $net_j$ ) con el estado de activación  $a_i(t)$ , produciendo un nuevo estado de activación  $a_i(t + 1)$  en un tiempo siguiente [Hilera & Martinez, 2000].

$$a_i(t + 1) = F_i(a_i(t), net_j)$$

Normalmente la función de activación  $F$  es la función identidad, por lo que el estado de activación siguiente coincide con la entrada neta; luego la función de activación y transferencia vienen a ser consideradas indistintamente [Hilera & Martinez, 2000].

$$a_i(t + 1) = net_j$$

- **Regla de Aprendizaje**

El aprendizaje es el proceso por el cual una red neuronal modifica sus pesos en respuesta a una información de entrada, es decir, inducido por la interacción con el entorno, y como resultado de experiencias conducente al establecimiento de nuevos modelos de respuesta a estímulos externos [Hilera & Martinez, 2000].

Biológicamente la información memorizada está relacionada con los valores sinápticos más que con las neuronas mismas. En una red neuronal el conocimiento se encuentra representado en los pesos de las conexiones entre neuronas [Hilera & Martinez, 2000].

#### **2.5.4 Características de una Red Neuronal**

Una red neuronal está definida por ciertas características, entre las que se encuentran:

- ✓ Topología de la red
- ✓ Mecanismo de aprendizaje que utiliza
- ✓ Tipo de asociación realizada entre la información de entrada y de salida
- ✓ Forma de representación de estas informaciones.

##### **2.5.4.1 Topología**

La topología consiste en la organización y disposición de las neuronas en la red formando capas o niveles, en este sentido hay distinción entre redes con una sola capa o las redes con múltiples capas.

La red que se manejará en la implementación del sistema será la red monocapa detallada a continuación:

- **Redes Monocapa**

En las redes monocapa se establecen conexiones laterales entre neuronas pertenecientes a la única capa que constituye la red, pudiendo existir también las conexiones autorrecurrentes. Estas redes se utilizan típicamente en tareas relacionadas con lo que se conoce como autoasociación, por ejemplo para regenerar informaciones de entrada que se presentan a redes incompletas o distorsionadas [Hilera & Martinez, 2000].

Entre las redes monocapa más importantes están: el modelo de red de Hopfield, la Máquina de Boltzmann, la máquina de Cauchy, mismas que presentan conexiones autorrecurrentes. Entre otros modelos monocapa que no presentan conexiones autorrecurrentes están el modelo Brain-state-in-a-box o el modelo Optimal Linear Associative Memory [Hilera & Martinez, 2000].

#### **2.5.4.2 Mecanismos de Aprendizaje**

Durante el proceso de aprendizaje, los pesos de las conexiones de la red sufren modificaciones, en base a los patrones de entrada presentados a la red, de modo que la red ajuste los pesos de las conexiones entre neuronas apropiadamente. El proceso termina cuando los pesos permanecen estables, en este punto se puede decir que la red ha aprendido [Hilera & Martinez, 2000]

El proceso para hacer que una red neuronal aprenda, se rige por ciertas reglas de aprendizaje, de manera general se consideran el aprendizaje supervisado, el no supervisado y el híbrido [Hilera & Martinez, 2000].

Las reglas de aprendizaje se fueron creando junto con los modelos de redes neuronales, cada una distinta de las otras, adecuada para un modelo específico. Puesto que existe gran cantidad de algoritmos de aprendizaje y arquitecturas de la literatura de redes neuronales, es

imposible realizar un único esquema de clasificación que pueda capturar todas las características principales de los diversos paradigmas [Hilera & Martinez, 2000].

La regla de aprendizaje determina los criterios que se siguen para cambiar el valor de los pesos y de esta manera lograr que la red aprenda una nueva información.

El aprendizaje supervisado significa proveer a la red de la salida deseada, ya sea calificando manualmente a la actuación de la red o proveyendo a la misma con los resultados esperados. En el aprendizaje no supervisado, la red es provista de los datos de entrada pero no los de salida, y el sistema debe “decidir” qué características usar para agrupar los datos [Hilera & Martinez, 2000]

La diferencia fundamental entre ambos tipos estriba en la existencia o no de un agente externo (supervisor) que controle el proceso de aprendizaje de la red [Hilera & Martinez, 2000].

- **Aprendizaje Supervisado**

El proceso de aprendizaje se realiza a través de un agente externo que determina la respuesta que debería generar la red a partir de una entrada determinada. En el caso que la salida no coincida con la entrada, se procede a modificar los pesos con el fin de conseguir una aproximación a la salida obtenida [Hilera & Martinez, 2000].

Según Hilera [Hilera & Martinez, 2000], se consideran tres formas de aprendizajes supervisados:

- ✓ Aprendizaje por corrección de error
- ✓ Aprendizaje por refuerzo
- ✓ Aprendizaje estocástico

En el aprendizaje por corrección de error, los ajustes se los realiza aplicando la siguiente regla:

$$\Delta w_{ji} = \alpha y_i (d_j - y_j)$$

Siendo:

$\Delta w_{ji}$  = Variación del peso entre las neuronas  $i$  y  $j$ .

$y_i$  = Valor de salida de la neurona  $i$ .

$d_j$  = Valor de salida deseado para la neurona  $j$ .

$y_j$  = Valor de salida obtenido en la neurona  $j$ .

$\alpha$  = Factor de aprendizaje ( $0 < \alpha < 1$ ) que regula la velocidad del aprendizaje.

Windrow y Hoff definieron una función para cuantificar el error global cometido en cualquier momento durante el proceso de aprendizaje de la red, este error es calculado por la siguiente fórmula:

$$Error_{global} = \frac{1}{2P} \sum_{k=1}^P \sum_{j=1}^N (y_j - d_j)^2$$

Siendo:

$N$  = Número de neuronas de salida.

$P$  = Número de informaciones que debe aprender la red.

$\frac{1}{2P} \sum_{k=1}^P \sum_{j=1}^N (y_j - d_j)^2$  = Error cometido en el aprendizaje de la información  $k$ -ésima.

Por tanto, en este aprendizaje se trata de encontrar unos pesos para las conexiones de la red que minimicen esta función de error. Para ello, el ajuste de los pesos se puede hacer de la forma proporcional a la variación relativa del error que se obtiene al variar el peso correspondiente:

$$\Delta w_{ji} = k \frac{\partial Error_{global}}{\partial w_{ji}}$$

Esta regla es conocida como Regla Delta o del Mínimo Error Cuadrado (LMS, en inglés). Mediante este procedimiento, se llega a obtener un conjunto de pesos con los que se consigue minimizar el error medio.

En el aprendizaje por refuerzo la función del supervisor es la de indicar mediante una señal de refuerzo si la salida obtenida en la red se ajusta a la deseada (éxito = +1 o fracaso = - 1), y en función de ello se ajustan los pesos basándose en un mecanismo de probabilidades. Este aprendizaje es más lento que el anterior, puesto que el supervisor es un crítico más que un maestro [Hilera & Martinez, 2000].

El aprendizaje estocástico consiste básicamente en realizar cambios aleatorios en los valores de los pesos de las conexiones de la red y evaluar su efecto a partir del objetivo deseado y de distribuciones de probabilidad. Así si la energía es menor después del cambio, se acepta el cambio; por el contrario, se aceptaría el cambio en función de una determinada y preestablecida función de probabilidad. Existen diversas variantes referentes a estos tipos de aprendizaje, cada una de las cuales se va ajustando a cierto tipo de red neuronal.

- **Aprendizaje no Supervisado**

En el aprendizaje no supervisado, la red no cuenta con salidas esperadas, por lo tanto no utiliza un tutor o supervisor y se basa solamente en la información ingresada. Esto se refiere a una auto-organización en el sentido que la red organiza automáticamente los datos presentados a la red y detecta sus propiedades colectivas emergentes, es por ello que suele decirse que estas redes son capaces de autoorganizarse [BASOGAIN, 2003].

El aprendizaje no supervisado se utiliza generalmente para realizar algunas caracterizaciones iniciales a los datos de entrada. Un modelo básico de esto utiliza los mapas autoorganizativos de Kohonen. En cuanto a la posibilidad de verdadero aprendizaje por parte de estos sistemas, aún es una promesa lejos de lograrse, e incluso de entenderse. Esta posibilidad todavía está relegada al laboratorio [BASOGAIN, 2003].

Dependiendo de la red, la salida puede representar el grado de familiaridad o similitud entre la información de entrada y las informaciones que se le han mostrado hasta entonces; como también la salida puede referirse a una categorización (clustering), es decir, indicar la categoría a la que pertenece la información presentada en la entrada, en este caso, cada salida es una categoría. Algunas redes lo que realizan con un aprendizaje no supervisado es un mapeo de características, que representan un mapa topológico de las características de los datos de entrada [BASOGAIN, 2003].

En general, se consideran tres tipos de algoritmos de aprendizaje no supervisado [BASOGAIN, 2003].

- ✓ Aprendizaje hebbiano
- ✓ Aprendizaje competitivo
- ✓ Aprendizaje cooperativo

- **Aprendizaje Reforzado**

En un aprendizaje reforzado por una parte se emplea la información del error cometido pero se sigue sin poseer la salida deseada. Dicho aprendizaje descansa en la idea dual premio castigo, donde se refuerza toda aquella acción que permita una mejora del modelo mediante la definición de una señal crítica. Esta estrategia de aprendizaje permite tratar con patrones de entrada diferidos que aparecen, por ejemplo, en aplicaciones de robótica [BASOGAIN, 2003].



- **Aprendizaje Híbrido**

En el aprendizaje híbrido coexisten en el modelo neuronal los dos tipos básicos de aprendizaje, el supervisado y el no supervisado, normalmente en distintas capas de neuronas. Modelos de este tipo son, por ejemplo, Red Counter-Propagation y Red de función en Base Radial [BASOGAIN, 2003].

Asociada a las anteriores tipologías de aprendizaje están las diferentes estrategias para poder conseguir las. En primer lugar, para el caso supervisado se hace una diferencia entre un aprendizaje por corrección de error y uno de carácter estocástico. En segundo lugar, para el caso no supervisado, se tiene el aprendizaje hebbiano y competitivo. En último lugar están las estrategias reforzadas, donde está presente un aprendizaje por refuerzo [BASOGAIN, 2003].

## **2.5.5 Perceptrón**

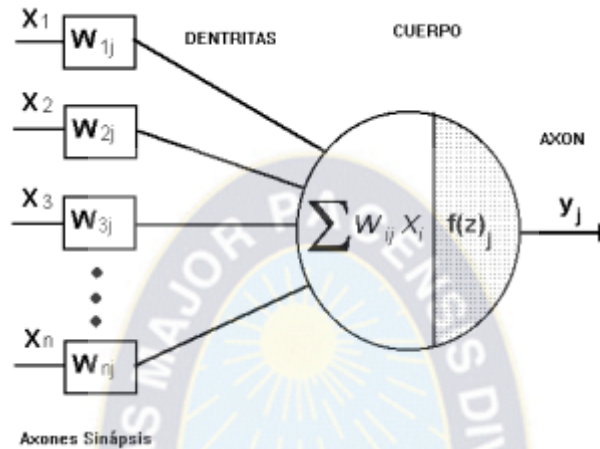
### **2.5.5.1 Arquitectura**

La arquitectura del Perceptron, llamada mapeo de patrones (pattern-mapping), aprende a clasificar modelos mediante un aprendizaje supervisado. Los modelos que clasifica suelen ser generalmente vectores con valores binarios (0,1) y las categorías de la clasificación se expresan mediante vectores binarios.

El Perceptron presenta dos capas de unidades procesadoras (PE) y sólo una de ellas presenta la capacidad de adaptar o modificar los pesos de las conexiones. La arquitectura del Perceptron admite capas adicionales pero éstas no disponen la capacidad de modificar sus propias conexiones.

La Figura (2.5) muestra la unidad procesadora básica del Perceptron. Las entradas  $x_i$  llegan por la parte izquierda, y cada conexión con la neurona principal tiene asignada un peso de valor  $w_{ji}$ .

**Figura 2. 7: Unidad Procesadora Básica del Perceptrón**



[Fuente: BASOGAIN, 2003]

La unidad procesadora del Perceptrón realiza la suma ponderada de las entradas según la ecuación (2.1).

$$S_j = \sum a_i w_{ji} \quad \text{ec. (2.1)}$$

Un aspecto común en muchas de las ANN es la entrada especial llamada "bias" representada en la parte superior izquierda de la figura (entrada  $a_0$ ). Esta entrada siempre presenta un valor fijo, +1 y funciona como una masa en un circuito eléctrico donde no varía de valor (se puede utilizar como un valor constante de referencia).

El Perceptron comprueba si la suma de las entradas ponderadas es mayor o menor que un cierto valor umbral y genera la salida " $x_j$ " según la ecuación (2.2).

$$\begin{aligned} &\text{si } S_j > 0 \text{ entonces } x_j = 1 \\ &\text{si } S_j \leq 0 \text{ entonces } x_j = 0 \end{aligned} \quad \text{ec.(2.2)}$$

La salida  $x_j$  es transmitida a lo largo de la línea de salida y constituye uno de los componentes del vector de salida de la red.

Las redes Perceptron de dos capas, representadas en la Figura (2.6) tienen una capa de entrada y una capa de unidades procesadoras que constituyen la capa de salida.

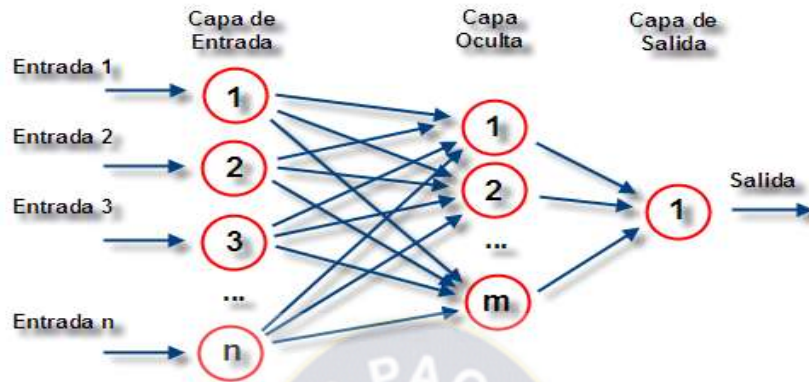
**Figura 2. 8: Red Perceptrón de dos Capas**



[Fuente BASOGAIN, 2003]

A lo largo de los años 50 y 60 se desarrollaron muchos tipos de topologías de redes basadas en la arquitectura del Perceptron. Las topologías con tres o más capas se caracterizan porque la regla de aprendizaje del perceptron sólo adapta los pesos o valores de las conexiones de una capa. Una aplicación típica de un sistema de tres capas es la que muestra la Figura (2.7) donde la entrada es la imagen de la letra E y la salida es la categorización de la entrada en dos clases.

**Figura 2. 9: Red Perceptron de tres Capas.**



[BASOGAIN, 2003]

El entrenamiento del Perceptron consiste en presentar a la red todos los elementos del conjunto de entrenamiento constituido por parejas de vectores (entrada y salida deseada) de forma secuencial.

El objetivo del entrenamiento es llegar a un conjunto de valores de los pesos de la red de forma que responda correctamente a todo el conjunto de entrenamiento. Después del entrenamiento los pesos no son ya modificados y la red está ya en disposición de responder adecuadamente a las entradas que se le presenten.

La adaptación de los pesos se puede realizar mediante diferentes reglas. Una de las reglas más simples de aprendizaje del Perceptron se indica en la ecuación (2.3):

$$w_{ji_{nuevo}} = w_{ji_{viejo}} + C (t_j * x_j) a_i \quad \text{ec.(2.3)}$$

Siendo  $t_j$  el valor de la salida deseada,  $x_j$  el valor de salida producida por la unidad procesadora,  $a_i$  el valor de la entrada  $i$  y  $C$  el coeficiente de aprendizaje.

En todo proceso de entrenamiento el comportamiento de la red inicialmente va mejorando hasta que llega a un punto en el que se estabiliza y se dice que la red ha convergido. Esta convergencia tiene dos posibilidades, la primera consiste en que la red haya aprendido correctamente el conjunto de entrenamiento o la segunda se trata de que la red no haya aprendido todas las respuestas correctas.

## **2.6 CANCER TIROIDEO**

El cáncer de la tiroides es la neoplasia endocrina más común y suele tener un comportamiento benévolo, pero también puede manifestarse como una neoplasia consistentemente letal. El pilar del tratamiento es la cirugía, esto es especialmente cierto en el caso del cáncer diferenciado y el cáncer medular, aunque su extensión es motivo de controversia. También son controvertidas las indicaciones de tratamiento adyuvante en el cáncer diferenciado.

La controversia surge de la ausencia de estudios controlados, que son difíciles de realizar debido a la necesidad de reclutar grandes números de pacientes y seguirlos durante décadas. Mientras tanto las recomendaciones se fundamentan en la identificación de los factores pronósticos y el conocimiento de su impacto en la supervivencia y en el control local, en inferencias con relación a los efectos del tratamiento, pero también en la consideración de la morbilidad asociada al tratamiento quirúrgico y médico.

Aspectos básicos

- El cáncer tiroideo es el cáncer endocrino más frecuente.
- El cáncer tiroideo es un tumor o crecimiento maligno que se origina dentro de la glándula tiroides. También se le conoce como carcinoma tiroideo.
- El cáncer tiroideo es uno de los pocos cánceres que ha aumentado su incidencia en los últimos años. Se espera que más de 60,220 personas serán diagnosticadas con

cáncer tiroideo en los Estados Unidos en el año 2013. En el mismo año se diagnosticarán más de 200,000 personas en todo el mundo.

- El cáncer tiroideo se presenta en todas las edades, desde niños pequeños hasta adultos mayores. Aproximadamente 2 de cada 3 personas diagnosticadas con cáncer tiroideo tienen entre 20 y 55 años de edad.
- El cáncer tiroideo es más frecuente en mujeres que en hombres. La proporción es alrededor de 7 mujeres por cada 10 pacientes.
- Se desconoce la causa de la mayoría de los cánceres tiroideos.
- Las personas tienen un mayor riesgo de presentar cáncer tiroideo si fueron expuestas a altas dosis de radiación durante la infancia, o si recibieron tratamiento radiactivo en cabeza y cuello por problemas médicos a una edad temprana. El cáncer puede aparecer hasta 20 años o más después de la exposición a la radiación. Sin embargo, la mayoría de las personas con dicha exposición no desarrollan cáncer tiroideo, y la mayoría de las personas con cáncer tiroideo no tuvieron ese tipo de exposición.
- El pronóstico para cualquier individuo con cáncer tiroideo depende de varios factores. Estos incluyen el tipo de cáncer tiroideo, el tamaño del tumor, si hay diseminación del tumor (metástasis) a otras partes del cuerpo (en especial diseminación a distancia) o no, y la edad del paciente al momento del diagnóstico.
- Por lo general, el cáncer tiroideo es fácilmente tratable cuando se diagnostica en forma temprana.

### **2.6.1 Nódulos y agrandamientos tiroideos benignos**

Los cambios en el tamaño y la forma de la tiroides a menudo se pueden palpar o incluso ver por los pacientes o sus médicos. El término médico para una glándula tiroides anormalmente agrandada es bocio<sup>13</sup>. Algunos bocios son difusos, es decir que toda la

---

<sup>13</sup> El **bocio** es el aumento de tamaño de la glándula tiroides. Se traduce externamente por una umoración en la parte antero-inferior del cuello justo debajo de la laringe

glándula está agrandada. Otros bocios son nodulares, lo que significa que la glándula está agrandada y tiene uno o más nódulos (protuberancias). Existen muchas razones por las que la glándula tiroidea pudiera estar más grande de lo usual, y en la mayoría de los casos esto no es cáncer. Los bocios difusos y nodulares usualmente son causados por un desequilibrio en ciertas hormonas. Por ejemplo, cuando no se obtiene suficiente yodo en la dieta pueden ocurrir cambios en los niveles hormonales y causar un bocio.

A las masas o protuberancias en la glándula tiroidea se les llama **nódulos tiroideos**. La mayoría de los nódulos tiroideos son benignos, pero alrededor de uno de 20 es canceroso. Algunas veces estos nódulos producen demasiada hormona tiroidea, lo que causa hipertiroidismo.

Las personas pueden presentar nódulos tiroideos a cualquier edad, pero éstos se presentan con más frecuencia en adultos de mayor edad. Menos de uno de 10 adultos tienen nódulos tiroideos que pueden ser palpados por un médico. Sin embargo, cuando se observa la tiroidea con una ecografía, a muchas más personas se les encuentran nódulos que son muy pequeños como para ser palpados.

Los nódulos tiroideos que son benignos algunas veces no necesitan tratamiento siempre y cuando no crezcan o causen síntomas. Puede que otros requieran alguna forma de tratamiento.

## **2.6.2 Tumores tiroideos malignos (cancerosos)**

### **2.6.2.1 Cánceres tiroideos diferenciados**

La mayoría de los cánceres de tiroidea son diferenciados. En estos cánceres, las células se parecen mucho al tejido normal de la tiroidea cuando se observa en un microscopio. Estos cánceres se originan de las células foliculares tiroideas.

- **Carcinoma papilar:** aproximadamente ocho de cada 10 cánceres de tiroides son carcinomas papilares (conocido también como cáncer papilar o adenocarcinoma papilar). Los carcinomas papilares suelen crecer muy lentamente, y por lo general se originan en un solo lóbulo de la glándula tiroides. A pesar de que crecen lentamente, los carcinomas papilares a menudo se propagan a los ganglios linfáticos en el cuello. Aun así, estos cánceres a menudo se pueden tratar con éxito, y pocas veces causan la muerte.

Existen varios subtipos del carcinoma papilar. De estos, el subtipo folicular (también llamado variante folicular-papilar mixta) ocurre con más frecuencia. La forma habitual de carcinoma papilar y el subtipo folicular tienen el mismo pronóstico favorable cuando se descubren temprano y el mismo tratamiento. Otros subtipos de carcinoma papilar (células altas, células cilíndricas y esclerosante difuso e insular) no son tan comunes y tienden a crecer y a propagarse más rápidamente.

- **Carcinoma folicular:** el carcinoma folicular, también denominado cáncer folicular o adenocarcinoma folicular, es el próximo tipo más común, representando alrededor de uno de cada 10 cánceres de tiroides. Éste es más común en los países donde las personas no reciben suficiente yodo en la alimentación. Por lo general, estos cánceres no se propagan a los ganglios linfáticos, aunque se pueden propagar a otras partes del cuerpo, tal como los pulmones o los huesos. Probablemente, el pronóstico para el carcinoma folicular no es tan favorable como el del carcinoma papilar, aunque sigue siendo muy favorable en la mayoría de los casos.

Se cree que el carcinoma de células de Hürthle (Hurthle), también conocido como carcinoma de células oxífilas, es en realidad una variante de carcinoma folicular. Conforman aproximadamente 3% de los casos de cáncer de tiroides. Puede que el pronóstico no sea tan favorable como para el carcinoma folicular típico debido a que este tipo es más difícil encontrar y tratar. Esto se debe a que es menos



probable que absorba el yodo radiactivo, el cual se usa tanto para el tratamiento como para determinar si hay propagación de cáncer de tiroides diferenciado.

### 2.6.2.2 Otros tipos de cáncer de tiroides

Estos tipos de cáncer de tiroides ocurren con menos frecuencia que los cánceres de tiroides diferenciados.

- **Carcinoma medular tiroideo:** el carcinoma medular de tiroides (*medullary thyroid carcinoma*, MTC) representa aproximadamente un 4% de los cánceres de tiroides. Se origina de las células C de la glándula tiroides, la cual normalmente produce calcitonina, una hormona que ayuda a controlar la cantidad de calcio en la sangre. Algunas veces este cáncer se puede propagar a los ganglios linfáticos, los pulmones o al hígado, incluso antes de que se detecte un nódulo tiroideo.

A menudo, el cáncer medular segrega demasiada calcitonina y una proteína llamada *antígeno carcinoembrionario* (*carcinoembryonic antigen*, CEA) en la sangre. Estas sustancias se pueden detectar con análisis de sangre.

Debido a que el cáncer medular no absorbe el yodo radiactivo (usado para el tratamiento y para buscar metástasis de cáncer de tiroides diferenciado), el pronóstico no es tan favorable como para los cánceres de tiroides diferenciados.

Existen dos tipos de carcinoma medular de tiroides:

- ✓ El carcinoma medular tiroideo esporádico, el cual representa aproximadamente ocho de cada 10 casos de MTC, no es hereditario (no tiende a darse entre las personas de una misma familia). Éste ocurre principalmente en adultos de edad avanzada y afecta sólo un lóbulo tiroideo.

- ✓ El carcinoma medular de tiroides familiar se hereda y puede presentarse en cada generación de una familia. A menudo, estos cánceres se desarrollan durante la niñez o en la adultez temprana y se puede propagar temprano. Los pacientes usualmente tienen cáncer en varias áreas de ambos lóbulos. El carcinoma medular de tiroides familiar (MCT, por sus siglas en inglés) a menudo está asociado con un riesgo aumentado de otros tipos de tumores.
  
- **Carcinoma anaplásico:** el carcinoma anaplásico (también llamado carcinoma indiferenciado) es una forma poco común de cáncer de tiroides, representando alrededor de 2% de todos los cánceres de tiroides. Se cree que algunas veces se origina del cáncer papilar o folicular que ya está presente. A este cáncer se le llama **indiferenciado** debido a que las células cancerosas no se parecen mucho a las células normales de la tiroides cuando son observadas con el microscopio. Este cáncer a menudo se propaga rápidamente hacia el cuello y otras partes del cuerpo, y es muy difícil de tratar.
  
- **Linfoma tiroideo:** el linfoma se presenta en muy pocas ocasiones en la glándula tiroides. Los linfomas son cánceres que se originan de los linfocitos, el tipo principal de células del sistema inmunitario. La mayoría de los linfocitos se encuentran en los ganglios linfáticos, los cuales son grupos de células inmunitarias del tamaño de un guisante esparcidos por el cuerpo (incluyendo la glándula tiroides).
  
- **Sarcoma de tiroides:** estos cánceres poco comunes se originan en las células de apoyo de la tiroides. A menudo, estos cánceres son agresivos y difíciles de tratar. Los sarcomas se discuten en nuestro documento Sarcomas de tejidos blandos en adultos.

### **2.6.3 Síntomas del Cáncer Tiroideo**

El signo principal del cáncer de tiroides es un bulto (nódulo) en el tiroides, y la mayoría de los cánceres no producen ningún síntoma. En cambio, su médico puede descubrir el nódulo durante un examen físico de rutina o usted puede notar un bulto en el cuello al mirarse en un espejo. Algunos pacientes con cáncer de tiroides se pueden quejar de dolor en el cuello, la mandíbula o el oído. Si el cáncer es lo suficientemente grande, puede causar dificultad al tragar, o causar un “cosquilleo en la garganta”, o dificultad para respirar si está presionando el tubo respiratorio. Rara vez, pero puede producir ronquera si el cáncer irrita un nervio que va hacia la laringe.

### **2.6.4 Causa del Cáncer Tiroideo**

El cáncer de tiroides es más común en personas con historia de exposición de la glándula tiroides a la radiación, con una historia familiar de cáncer de tiroides y en personas mayores de 40 años. Sin embargo, en la mayoría de los pacientes, no conocemos la razón específica por la cual desarrollan cáncer de tiroides.

La exposición del tiroides a la radiación puede causar cáncer de tiroides en pacientes susceptibles, especialmente si la exposición ocurrió durante la infancia. Hace muchos años, (en los años 1940s y 1950s), la exposición a la radiación incluía tratamientos con rayos X para el acné, inflamación de las amígdalas, adenoides, nódulos linfáticos o agrandamiento de la glándula timo.

Los rayos X también se utilizaban para medir el tamaño de los pies en las tiendas de calzado. Actualmente, la exposición a los rayos X, generalmente está limitada al tratamiento de otros cánceres como la enfermedad de Hodgkin (cáncer de los nódulos linfáticos). La exposición a los rayos X de rutina (por ejemplo rayos X dentales, radiografías de tórax y mamogramas) no causa cáncer de tiroides.

## CAPÍTULO III MARCO APLICATIVO

### 3.1 INTRODUCCIÓN

En este capítulo se dará énfasis al desarrollo del sistema experto propuesto, como es sabido su objetivo principal es igualar el comportamiento de los expertos humanos.

El análisis del Sistema Experto para el diagnóstico del Cáncer Tiroideo, hace uso de los instrumentos métodos y técnicas descritas en el capítulo anterior “Marco teórico”, para el diseño del sistema se utiliza la metodología de Buchanan, la cual se define de acuerdo a la adquisición de conocimiento de las distintas fuentes de información como los Expertos en el área, documentación referente al tema, textos y otras fuentes de información precisa.

Dentro de la metodología Buchanan, en la fase 4, se hace uso del motor de inferencia identificado por la función OR, que utiliza la siguiente tabla:

**Tabla 3. 1: Función OR**

X1	X2	Y
1	1	1
1	-1	1
-1	1	1
-1	-1	-1

[Fuente: Elaboración Propia]

En la base de reglas que se utiliza para las redes neuronales, cada regla es asignada por un valor entre [-1,1], de esta manera es como se refleja el funcionamiento del Sistema Experto

## 3.2. Metodología para el desarrollo del Sistema Experto

Para el presente trabajo se utiliza la metodología de Buchanan, que se basa en adquisición de conocimiento de diversas fuentes. El desarrollo se constituye de las siguientes fases:

### 3.2.1 Fase 1: Identificación:

Se realiza un sistema experto para el diagnóstico de la enfermedad de Cáncer tiroideo, primeramente se procedió a detallar a los participantes en el proyecto, en este punto se encuentran las personas que desarrollan el sistema experto.

- **Experto en el área:** El área de este sistema experto corresponde al ámbito del proceso de diagnóstico de la enfermedad de Cáncer Tiroideo. Entre los expertos tenemos: Doctores y enfermeras (os) de Centros de Salud y los pacientes que se han realizado el diagnóstico. Ellos son los que proporcionan sus conocimientos y experiencias.
- **Ingeniero de Conocimiento:** Es la persona que se encargará de realizar el sistema experto de diagnóstico de la enfermedad de Cáncer Tiroideo. Las tareas a realizar son: Planificación, Gestión y Control del Proyecto, Interacción con los directivos, Experto y Usuarios, Análisis de Viabilidad, Adquisición de Conocimiento y Conceptualización, ayuda y asesora en la Formalización del Sistema y el Diseño de Software, Supervisa la implementación, realiza la Validación, Controla el mantenimiento, etc.
- **Usuarios:** El desarrollo de Sistema Experto está orientado a usuarios que se encargarán de realizar el diagnóstico de la enfermedad del Cáncer Tiroideo.

Los Hospitales o Centros de Salud particulares o privados realizan una gestión de procesos tardíos y menos óptimos en el diagnóstico del Cáncer Tiroideo, debido a una deficiencia en

los procedimientos que realizan, lo que conlleva al ineficaz servicio al paciente; quien demanda cada vez mejores resultados.

### **3.2.2 Fase 2: Conceptualización**

A continuación se especificará los principales conceptos e información que harán que el desarrollo del sistema, tenga mayor claridad para los usuarios.

La conceptualización para el desarrollo del Sistema incluye identificar todos los elementos que intervienen en la solución del problema (conceptos, procedimientos, reglas de inferencia, heurísticas, casos especiales, métodos de razonamiento, restricciones, etc.). La información que se obtuvo con el experto, recursos del centro de Salud, también por observaciones, datos gráficos (imágenes, dibujo, diagramas, etc.). A medida que se obtiene el conocimiento es necesario depurarlo, seleccionando los conceptos básicos que harán posible el funcionamiento del sistema.

### **3.2.3 Fase 3: Formalización**

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 adecuado para la aplicación particular.

La organización del conocimiento se realizará mediante el Perceptrón Simple de las redes neuronales.

#### **3.2.3.1 Descripción Formal de Modelo**

Un Sistema Experto basado en reglas tiene dos elementos importantes:

- Los datos, que son los valores que toman las variables en una situación particular, los mismos pueden variar en las distintas aplicaciones, no son permanentes y se almacenan en la memoria de trabajo.
- La base de conocimiento, que representa el conocimiento de los expertos humanos y consiste en un conjunto de reglas que gobiernan las relaciones entre las variables.

La información obtenida en la base del conocimiento es permanente y estática (Sampallo, 2007)

Si bien se considera que el proceso de inferencia de un Sistema Experto puede ser modelado como una función  $f$  de mapeo de un espacio  $n$ -dimensional a otro  $m$ -dimensional, entonces se puede utilizar una red neuronal para realizar el proceso de inferencia, la misma deberá ser capaz de encontrar una función de mapeo  $f^*$  que verifique las siguientes condiciones:

$$f^*: (x,w) \rightarrow y \quad (1)$$

$$f^*(x,w) = y \quad (2)$$

Dónde:

$x$  Representa los valores de entradas a la red, almacenados en un vector.

$w$  Representa la matriz de pesos de la red, dichos valores están en el rango  $[-1, 1]$

$y$  Representa los valores de salida de la red

### **Componentes del Modelo**

Haciendo un análisis al proceso de diagnóstico del cáncer tiroideo, se ha visto la complejidad que tiene ya que exige la valoración de distintos factores que interactúan, se determina como componentes del modelo los siguientes elementos:

### **a) Base de conocimiento**

La base de conocimiento se construyó a partir de la información obtenida de parte de los expertos humanos y documentación obtenida del Cáncer Tiroideo, disponibles para objeto de estudio.

En este sentido el método de representación del conocimiento más adecuado para el diagnóstico es la Biopsia practicada a pacientes que presentan señales o síntomas de Cáncer Tiroideo, entonces para fines de diagnóstico se tomará a las reglas de producción, ponderado por un índice de confirmación C, que opera en la medida que se verifique la parte del antecedente, formada por un conjunto de proposiciones.

Así las reglas tendrán la siguiente forma:

MIENTRAS (Conjunto de proposiciones)

ENTONCES (Diagnóstico)(C)

Para poder obtener éstas reglas necesitamos conocer los diferentes casos que podrían llevar a una persona a realizarse un diagnóstico de cáncer tiroideo, los posibles factores de riesgo o si es propenso a tener Cáncer Tiroideo por herencia familiar

La base de conocimientos contiene todos los hechos y reglas del dominio de aplicación, la base de hechos y reglas se obtiene a través de una entrevista con el paciente otra con el médico.

### **b) Base de Hechos**

- **Casos de pacientes**

#### **CASO 1:**

En enero del 2003 Sonia le dijo a su mamá que tenía algo raro en el cuello que nunca se había dado cuenta. Al escuchar esto su mamá le dice que era normal (ya que tenía sobre



peso), pero ante la insistencia de la niña, la madre decide llevarla al Pediatra, pero en ese instante la niña empezó a sentir que le faltaba el aire, que no podía respirar. Una vez en la clínica le dijeron que era una MONONUCLEOSIS, no conforme con esto la madre fue a otro médico el cual le pidió una ecografía Tiroidea, la cual le realizaron el 18 DE MARZO DE 2003, La Dra. Le pide a la madre que vaya a ver al Otorrinolaringólogo, el cual dice que debía operarse cuanto antes. Luego de muchas consultas, análisis, estudios, punciones llego el día de la operación, el 28 DE ABRIL DE 2003 con una duración de 15 hrs. El 28 DE JULIO, volvieron a operar. Luego pasó por tratamiento que normalmente se dan, Yodo, analisis, controles.

### **CASO 2:**

Hace cuatro meses a María se le detectó un tumor sospechoso de cáncer de tiroides. Luego de varias ecografías, punción aspirativa y consultar varios médicos se determinó que era necesaria una cirugía en la que se extirparía la tiroides. María hizo de todo un poco, para intentar reducir el tumor. (medicina homeopática, consumir productos de Young living debido a recomendación, entre otras cosas). Si bien no lograron reducir el nódulo, piensa que le sirvieron para recuperarse muy bien y rápido de la cirugía. Y preparar su cuerpo y mente para lo que estaba viviendo. Luego de que le hicieron la tiroidectomía tuvo que esperar el resultado de la biopsia. Finalmente le dieron el informe. El nódulo se confirmó, era maligno. Midió 1,5 cm, pero no tomó ganglios, no hubo invasión de tejidos, estaba limitado al lóbulo derecho de la tiroides, bien diferenciado. Esto más o menos, sacando los términos médicos, fue lo que le informaron. Tuvo que empezar a asumir que tenía la enfermedad.

- **Caso de Clínica Quirúrgica<sup>14</sup>**

### **CASO 1: Cáncer Papilar de Tiroides**

Mujer de 28 años.

---

<sup>14</sup> Página de la Clínica Quirúrgica 3 Hospital Maciel - Facultad de Medicina

6 meses luego del parto nota tumoración del cuello del lado derecho que ha ido creciendo en los últimos dos meses; no ha notado cambios de carácter, ni modificaciones ante cambios de temperatura, no ha presentado disnea ni disfagia consulta medico quien solicita ecografía y punción citología y la envía a cirujano.

**Examen:** lucida, ligeramente obesa, eupneica, apirética.

**Cuello:** Inspección, eje visceral centrado, se percibe tumoración redondeada de 3 cm de diámetro en región infrahiodea derecha, a la inspección dinámica se oculta detrás del esternocleidomastoideo, asciendo con la deglución. A la palpación, craqueo laríngeo conservado, es firme, elástico, bien delimitado, superficie lisa, sin latidos, no se palpa tiroides ni adenopatías.

**C/V<sup>15</sup>:** ritmo regular de 70 cpm, no soplos.

**ECOGRAFIA:** Nódulo tiroideo, sólido de 2,5 cm de diámetro en una glándula tiroides de caracteres normales, no se observan visceromegalias.

**PUNCION CITOLOGICA:** Tejido tiroideo formando papilas, con células de núcleos globulosos y algunas microcalcificaciones.

Estamos frente a una mujer de 28 años que presenta una tumoración en región media de cuello del lado derecho de 2 meses de evolución que ha ido creciendo sin fenómenos acompañantes y que al examen se percibe tumoración de 3 cm de diámetro redondeada en región infrahiodea derecha y que acompaña los movimientos deglutorios no palpándose la glándula tiroides por lo cual hacemos el diagnóstico clínico de nódulo tiroideo entidad anátomo clínica que es confirmado por la ecografía y que a la punción muestra citología de una neoplasia papilar maligna por todo lo cual hacemos el diagnostico positivo clínico imagenologico y citológico de cáncer diferenciado de tiroides sub tipo papilar.

---

<sup>15</sup> C/V = Cardio Vascular

No planteamos diagnóstico diferencial por la claridad del cuadro clínico y la confirmación citológica.

**Diagnóstico de estado funcional del tiroides:** sabemos que la mayoría de los cánceres de tiroides cursan en eutiroidismo. Nuestro paciente no presenta ningún elemento clínico que nos haga sospechar disfunción glandular, que se confirmará con la dosificación hormonal.

**Diagnóstico topográfico:** Clínicamente se topografía a nivel del lóbulo derecho ocupándolo en su totalidad, y por encontrarse por detrás del ECM inferimos que sea posterior, confirmado ecográficamente y respetando el istmo, elemento de buen pronóstico.

**Diagnóstico de extensión lesional:** En lo loco-regional nos muestra una tumoración de 3 cm en lóbulo derecho firme, elástico y bien delimitado de superficie lisa sin compromiso ístmico ni fija a estructuras vecinas. No ha presentado sintomatología compatible con compromiso recurrencial ni simpático como tampoco refiere elementos que nos hablen de compresión mecánica como ser disnea y disfagia.

No presenta adenopatías ni clínica ni imagen o lógicamente como se ve en hasta el 40-50% al momento del diagnóstico en el tipo Papilar, siendo las cadenas más frecuentemente comprometidas cadenas yugulares, carótideas superior, medio, inferior, paratraqueales, supraclaviculares y hasta en un 10% en mediastino anterior.

En lo sistémico al momento del diagnóstico se ve hasta en un 10% metástasis por vía linfohemática a nivel óseo y pulmonar sin elementos clínicos en nuestra paciente.

**Diagnóstico de estadificación:** de importancia pronóstica y terapéutica.

Se realiza mediante el sistema TNM de la UICC el cual toma como elemento pronóstico aislado más importante la edad, teniendo dos estadificaciones una para menores de 45 años como nuestra paciente y otra para mayores de 45 años.

Siendo nuestra paciente un estadio I por ser menor de 45 años sin elementos clínicos de metástasis, las cuales cuando están presentes corresponden al estadio II.

**Diagnóstico etiopatogénico:** se desconoce su etiología siendo su oncogénesis primaria incierta. Múltiples factores favorecedores se invocan en su desarrollo como ser los ambientales, genéticos, dietarios y enfermedades predisponentes. Aumentado su incidencia en las últimas tres décadas por aumento en la dieta del yodo. Existe clara relación entre las radiaciones ionizantes a bajas dosis en cabeza y cuello y el desarrollo posterior del cáncer diferenciado siendo en el 90% papilar.

En nuestra paciente tenemos como factores de riesgo el sexo.

**Diagnóstico anátomo patológico:** corresponden en su mayoría a tumores primarios de estirpe epitelial, siendo mayoritariamente bien diferenciados y correspondiendo en el 70% de los casos al tipo papilar, que predomina en zona no bociógenas, que se presenta con un 20 - 80% de multicentricidad, con predominio de invasión linfática precoz, la mayoría son confinados a la cápsula tiroidea y entre moderado y bien diferenciados.

Puede presentarse con un patrón mixto papilar folicular. Nuestra paciente presenta una citología característica del cáncer papilar como las microcalcificaciones o cuerpos de Psamoma y fundamentalmente la presencia de estructuras papilares, todo lo cual podrá ser confirmado mediante consulta intraoperatoria con Patólogo y certificado con el estudio definitivo de la pieza quirúrgica con importancia terapéutica y pronóstica.

**Diagnóstico de complicaciones:** Destacamos que no presenta complicaciones de origen mecánico como ser la compresión de vía aérea manifestada por disnea, tampoco disfagia por compromiso esofágico ni disfonía por infiltración recurrencial. No presenta asociación lesional.

**Diagnóstico de terreno:** en cuanto al terreno de la paciente destacamos que se trata de una paciente de 28 años sin patología cardiorrespiratoria previa lo cual es la principal causa de morbimortalidad perioperatoria, destacando en lo local la obesidad la cual aumenta las complicaciones infecciosas.

- **Caso de Clínica General<sup>16</sup>**

**CASO 2: Cáncer Papilar de Tiroides**

Mujer de 38 años.

Paciente evaluada por primera vez en agosto de 2012 por antecedentes de patología tiroidea por su ginecólogo, quien le indicó Novitiral que ella solo tomó por dos meses.

Acude por presentar dolor cervical crónico y cefalea, para descartar como causa el problema tiroideo.

Al examen presentaba nódulo tiroideo de 12 mm de diámetro con función tiroidea normal, por lo que indica punción con aguja fina del mismo. Puncionado en septiembre de 2012, el informe de la biopsia muestra neoplasia papilar tiroidea. Se indica cirugía tiroidea, la cual es realizada en octubre del mismo año, realizándose tiroidectomía total, la biopsia de la pieza operatoria confirma el diagnóstico de Cáncer papilar de tiroides de 1.5 cm de diámetro, con bordes quirúrgicos libres de enfermedad. Se le indica I131(yodo radiactivo) 100mCi como tratamiento complementario del cáncer, el cual recibe el 12 de noviembre de 2012.

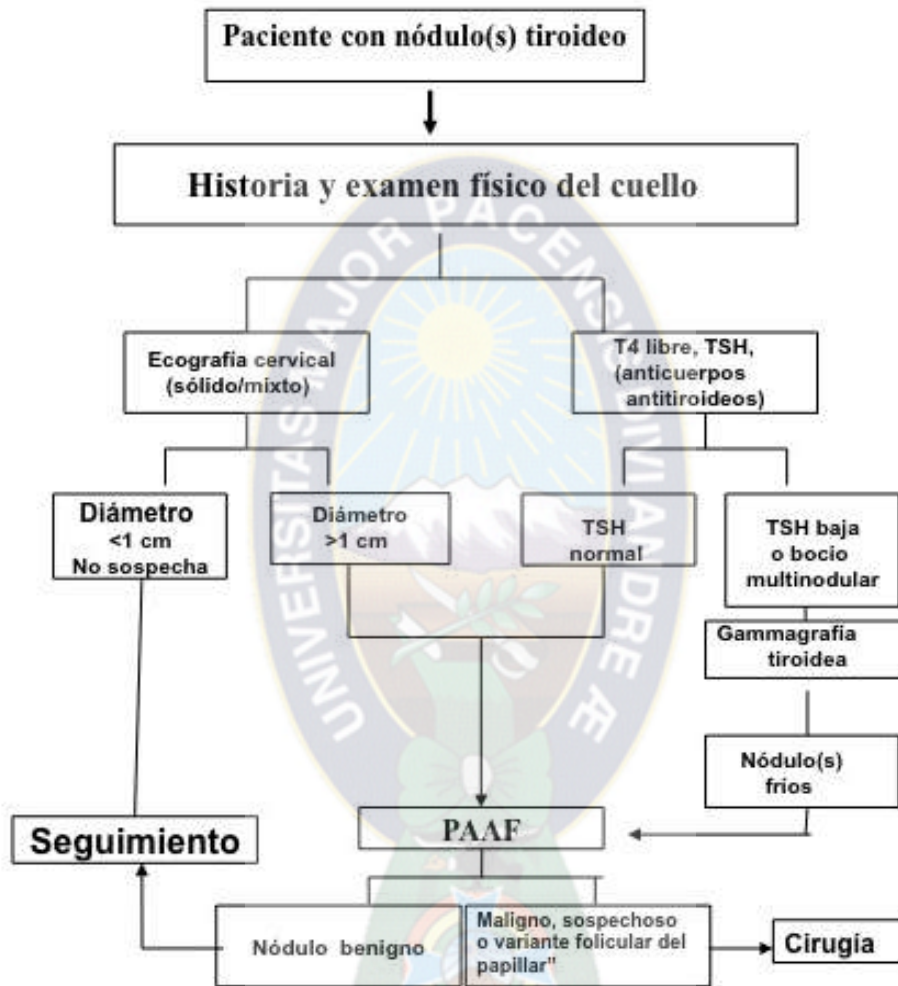
Desde entonces se ha realizado los controles habituales por el diagnóstico de cáncer tiroideo, el último de los cuales fue en enero de 2014 encontrándose tiroglobulina no detectable, dosificación de hormonas tiroideas adecuadas al diagnóstico y ecografía cervical normal. Con estos exámenes se concluye que no hay recidiva de la enfermedad, se indica mantener la misma dosis de levotiroxina que está recibiendo y control anual.

---

<sup>16</sup> Clínica General – Medicina Interna - Endocrinología Hospital Embroid

En la figura 3.1 se muestra la revisión periódica que deben realizar los pacientes diagnosticados con Cáncer tiroideo.

**Figura 3. 1: Revisión periódica del Paciente**



[Fuente: AECAT, 2014]

### c) Base de Reglas

En base a los casos mencionados y la experiencia del especialista, podemos elaborar las reglas para representar el conocimiento del experto:

## Para los síntomas generales en la personas

Regla 1:

**Si** la persona es de género femenino, **entonces** es propensa a tener cáncer tiroideo (-1).

Regla 2:

**Si** la persona presenta dolor frecuente de garganta y tos, **entonces** es propensa a tener cáncer tiroideo (1).

Regla 3:

**Si** la persona tiene agrandamiento de la glándula de tiroides, **entonces** es propensa a tener cáncer tiroideo (1).

Regla 4:

**Si** la persona sufre de ronquera o cambios repentinos en la voz, **entonces** es propensa a tener cáncer tiroideo (1).

Regla 5:

**Si** la persona observa hinchazón en el cuello, **entonces** es propensa a tener cáncer tiroideo (1).

Regla 6:

**Si** la persona tiene algún familiar que sufrió cáncer en la tiroides, **entonces** es propensa a tener cáncer tiroideo (1).

Regla 7:

**Si** la persona pudo notar algún quiste en el cuello, **entonces** es propensa a tener cáncer tiroideo (1).

Regla 8:

**Si** la persona tiene exceso de peso o pérdida, **entonces** es propensa a tener cáncer tiroideo (1).

Regla 9:

**Si** la persona tiene alteración de hormonas, **entonces** es propensa a tener cáncer tiroideo (1).

**Para el examen de calcitonina en la sangre:**

Regla 10:

**Si** el resultado del examen es 10 pg/ml, **entonces** es normal (-1)

**Para el estudio por imagen evaluación de la función tiroidea:**

Regla 11:

**Si** en la primera hora se observa de 5%-10%, **entonces** es normal (-1).

Regla 12:

**Si** al día siguiente se observa de 15%-20%, **entonces** es normal (-1).

Regla 13:

**Si** dos días después se observa de 25%-30%, **entonces** es normal (-1).

En la figura 3.2 se puede apreciar la curva de captación de yodo radioactivo de una a cuarenta y ocho horas consecutivas.

**Figura 3. 2: Estudio por imagen para evaluar la función tiroidea**



[Fuente: Pitola, 2002]



**Para el resultado del examen de biopsia:**

Regla 14:

**Si TSH<sup>17</sup>** está entre 0.4 y 4.0 mIU/L, **entonces** es normal (-1).

Regla 15:

**Si T4<sup>18</sup>** Total está entre 4.5 a 11.2, **entonces** es normal (-1).

Regla 16:

**Si T3<sup>19</sup>** está entre 100 y 200 ng/dl, **entonces** es normal (-1).

Regla 17:

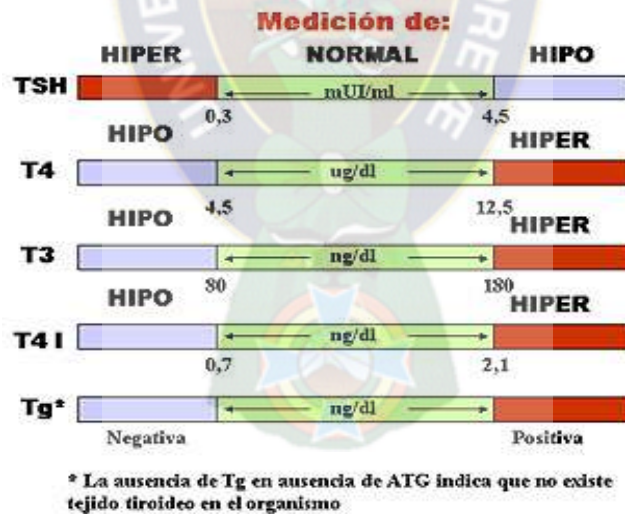
**Si T4<sup>20</sup>** Libre está entre 100 y 200 ng/dl, **entonces** es normal (-1).

Regla 18:

**Si TG<sup>21</sup>** está entre 0.7 y 150 Mg/dl, **entonces** es normal (-1).

La figura 3.4 nos muestra las Mediciones realizadas para ver si existe tejido tiroideo en el organismo.

**Figura 3. 3: Mediciones**



[Fuente: Pitola, 2002]

<sup>17</sup> Hormona estimulante de la tiroides

<sup>18</sup> Tiroxina Total

<sup>19</sup> Hormona de la tiroides Triyodotironina

<sup>20</sup> Tiroxina Libre

<sup>21</sup> Nivel de triglicéridos

### **3.2.4 Fase 4: Elicitación**

Se debe escoger una técnica de representación del conocimiento que muestre la manera en que el experto modela el conocimiento del problema mentalmente. Sin embargo, para razones prácticas, se debe además considerar los recursos y capacidades de la organización.

Para la representación de conocimiento se ha tomado los síntomas que se presentan para el diagnóstico de la enfermedad Cáncer Tiroideo, que tienen que cumplir los pacientes y los criterios o membresías que utiliza el doctor al momento de hacer la consulta.

Para cada requisito y criterio se le ha asignado sus variables lingüísticas con sus respectivos rangos.

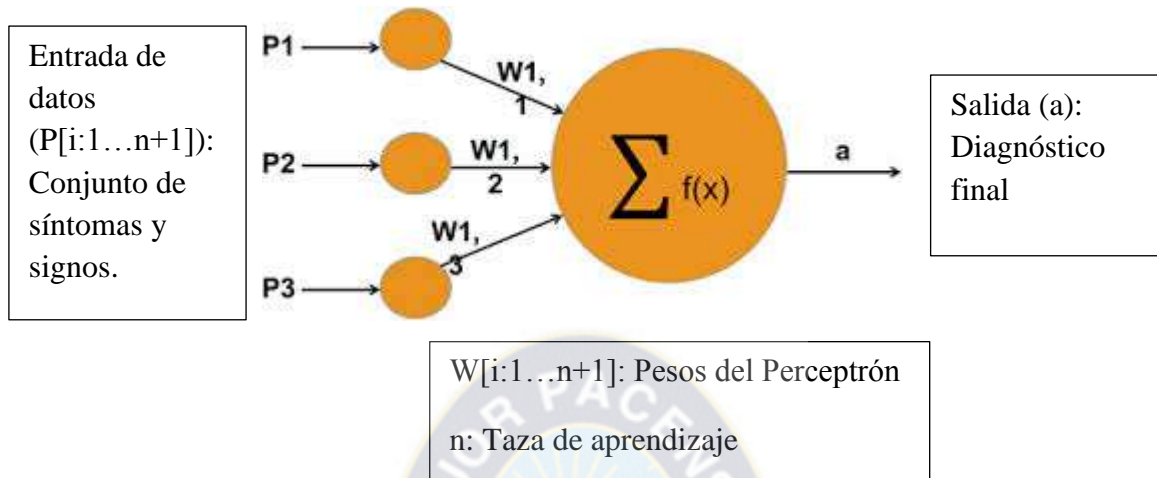
#### **3.2.4.1 Diseño de la Red Neuronal**

Realiza el mecanismo de inferencia sobre las reglas y hechos proporcionados para producir una salida o diagnóstico razonable.

El componente más importante es el mecanismo de inferencia, el cual es representado a través de una red neuronal, que proporciona la elección de salidas para finalmente proporcionar el diagnóstico final.

La figura 3.4, presenta los componentes del sistema experto, la manera como se está tomando las variables de entrada, los pesos asignados a cada valor donde luego se puede ver cómo actúa el perceptrón realizando la inferencia así llegando a obtener las variables de salida. Es importante analizar la figura, ya que es la base de todo el sistema en cuanto a funcionamiento y estabilidad.

**Figura 3. 4: Componentes del Sistema Experto**



[Fuente: Elaboración Propia]

### a) Funciones de Transferencia Utilizados

Cada unidad de proceso tiene asociado cierta función de transferencia, que transforma el estado actual de activación en señal de salida dirigida a la siguiente capa de la red neuronal. La importancia de utilizar una función de transferencia específica radica en la forma de tratar los valores dentro la estructura de la red neuronal.

- Entre las funciones de Transferencia utilizadas se encuentran:

Función Logaritmo Sigmoidal.

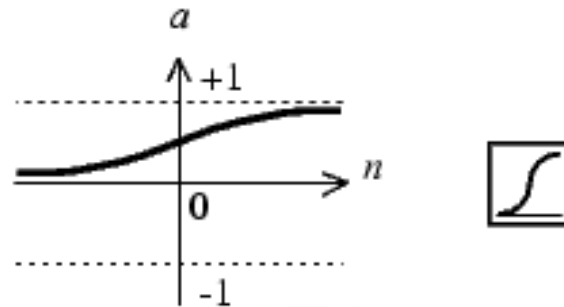
Función Tangente Hiperbólica

#### 1. Función Logaritmo Sigmoidal

Ésta función se define como una función exponencial. Es uno de los métodos de transferencia utilizados por las redes neuronales, devuelve datos normalizados en el rango de 0 a 1, representado por la siguiente fórmula:

$$\log sig(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}}$$

**Figura 3. 5: Función Logaritmo Sigmoidal**



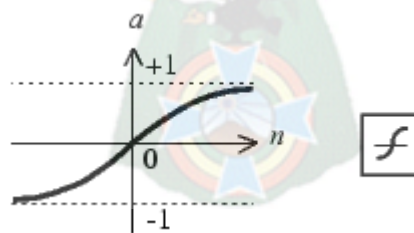
Fuente: [Demuth & Beale, 2007]

## 2. Función Tangente Hiperbólica

Ésta función se define como una función exponencial. Es uno de los métodos de transferencia utilizados por las redes neuronales para acelerar la convergencia de un método en el backpropagation, que calcula el valor de la tangente hiperbólica de manera rápida, devolviendo valores en el rango de -1 a +1, según la fórmula:

$$\tan sig(x) = \frac{1 - e^{-2x}}{1 + e^{-2x}}$$

**Figura 3. 6: Función Tangente hiperbólica**



Fuente: [Demuth & Beale, 2007]

En este trabajo se propone utilizar una red neuronal capaz de realizar el proceso de inferencia, con las siguientes características:

### b) Características del diseño neuronal

- ❖ **Objetivo de la red:** Determinar un diagnóstico a partir de la información proporcionada por un experto en el área y demás documentación obtenida.
- ❖ **Topología de la red:** Se considera una red compuesta por una capa de entrada y una capa de salida.
- ❖ **Mecanismo de aprendizaje:** El mecanismo de aprendizaje se basa en un algoritmo de aprendizaje no supervisado.
- ❖ **Representación de la información:** Es de tipo analógica, ya que son valores reales. La entrada estará relacionada de acuerdo a los síntomas según el grado de importancia, de esta manera la salida se considera un valor real.

### c) Diseño de entradas

Los valores asignados a las variables de entrada son:

**Tabla 3. 2: Descripción de valores de entrada**

Varón	Mujer	Si	No	Hiper	Normal	Hipo	Positivo	Mayor	Menor
1	-1	1	-1	1	0 1	-1	-1	-1	-1

[Fuente: Elaboración Propia]

Tomando en cuenta estos valores podemos definir las variables por el conjunto de reglas y hechos (síntomas o signos) a los cuales se les asignó un factor de importancia o peso.

**Tabla 3. 3: Variables de entrada**

Variable	Descripción de la Variable	Valor (-1 a 1)
sex	Elija su género	(-1, 1)
x1	Alguna vez sintió dolor frecuente de garganta o tos	(-1, 1)

x2	Tiene agrandamiento de la glándula de tiroides	(-1, 1)
x3	Sufre de ronquera o cambios repentinos en la voz	(-1, 1)
x4	Se observa hinchazón en el cuello	(-1, 1)
x5	Tiene algún familiar que sufrió cáncer en la tiroides	(-1, 1)
x6	Pudo notar algún quiste en el cuello	(-1, 1)
x7	Tiene exceso de peso o pérdida	(-1, 1)
x8	Tiene alteraciones nerviosas	(-1, 1)
x9	Resultados del examen. Normal 10 pg/mL	(-1, 0, 1)
x10	Primera hora (1h)	(-1, 1)
x11	Día siguiente (24hrs)	(-1, 1)
x12	Dos días después (48hrs)	(-1, 1)
x13	Hormona estimulante de la tiroides (TSH) Normal 0.4 a 4.0 mIU/L	(-1, 0, 1)
x14	Tiroxina total. Normal 4.5 a 11.2	(-1, 0, 1)
x15	Hormona de la tiroides Triyodotironina (T3). Normal 100 a 200 ng/dL	(-1, 0, 1)
x16	Tiroxina libre (T4). Normal 0.7 a 2.1 ng/dL	(-1, 0, 1)
x17	Nivel de triglicéridos (TG). Normal 0.7 a 150mg/dL	(-1, 1)

[Fuente: Elaboración Propia]

#### d) Diseño de Datos

La estructura a utilizar es la siguiente:

Los datos de entrada están constituidos por los síntomas especificados por el paciente y el médico especialista (Ver tabla 3.2). Los mismos se pueden almacenar en vectores:

$$x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$$

**Tabla 3. 4: Datos de entrada en 2 vectores**

sex

x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	x10	x11	x12	x13
----	----	----	----	----	----	----	----	----	-----	-----	-----	-----

x14	x15	x16	x17
-----	-----	-----	-----

[Fuente: Elaboración Propia]

Se ve por conveniente separar en grupos como se ve en la tabla 3.7, cada síntoma tiene su propia matriz.

**Figura 3. 7: Matriz de resultados detectados**

x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	x10	x11	x12	x13	x14	x15	x16	x17	o	Bias	Yin	Y	W1	W2	W3	W4	W5	W6	W7	W8	W9	W10	W11	W12	W13	W14	W15	W16	W17						
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	-10	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-11	-7	-10	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	7	10	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-11	-7	-10	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

**Fuente: Elaboración Propia**

Detallando las variables tenemos:

- xi: Representa las variables de entrada
- Yin suma el valor de la base de conocimiento, y lo multiplica por los últimos pesos obtenidos, tomando en cuenta que al inicializar los valores de los pesos son “0”.
- La variable Y toma un valor entre [-1,1] dependiendo esta condición, se hace la pregunta (Yin <= 1), si cumple esta condición el valor que toma es -1, en otro caso toma el valor 1.
- La letra “o” se encuentra en la base de conocimiento y es el valor esperado en los resultados en nuestro caso varia en 1 y -1

- Los W son los pesos de salida.
- Bias es el término de la tendencia para nuestro caso empieza en 1. Lo mismo para delta bias

La red neuronal utiliza un aprendizaje no supervisado, es decir no cuenta con salidas esperadas, por lo tanto no utiliza un tutor o supervisor y se basa solamente en la información ingresada.

Dependiendo de la red, la salida puede representar el grado de familiaridad o similitud entre la información de entrada y las informaciones que se le han mostrado hasta entonces; como también la salida puede referirse a una categorización (clustering), es decir, indicar la categoría a la que pertenece la información presentada en la entrada, en este caso, cada salida es una categoría.

En general, se consideran tres tipos de algoritmos de aprendizaje no supervisado.

- Aprendizaje hebbiano
- Aprendizaje competitivo
- Aprendizaje cooperativo

Para el sistema se utilizará el aprendizaje hebbiano que consiste básicamente en el ajuste de los pesos de las conexiones de acuerdo con la correlación de los valores de activación de las neuronas conectadas; así si las dos neuronas son activas (positivas), se produce un reforzamiento de la conexión, por el contrario si es pasiva (negativa), se produce un debilitamiento de la conexión [Hilera & Martinez, 2000].

$$\Delta w_{ji} = y_i \cdot y_j$$



Esta regla corresponde a un aprendizaje no supervisado puesto que la modificación de los pesos se realiza en función de los estados (salidas) de las neuronas obtenidos tras la presentación de cierto estímulo (información de entrada a la red), sin tener en cuenta si se deseaba obtener o no estos estados de activación [Hilera & Martinez, 2000].

Una variante de esta regla es el denominado hebbiano diferencial, que utiliza la correlación de las derivadas en el tiempo de las funciones de activación de las neuronas.

El vector de salida emite los siguientes resultados:

**Tabla 3. 5: Variables de Salida**

<b>Nro</b>	<b>Definiendo los set de cáncer / Mujer</b>
1	Carcinoma Papilar
2	Carcinoma Folicular
3	Sin posible carcinoma
<b>Nro</b>	<b>Definiendo los set de cáncer / Varón</b>
4	Carcinoma Folicular
5	Sin posible Carcinoma
6	Carcinoma Papilar

[Fuente: Elaboración Propia]

### 3.2.5 Fase5: Implementación

Para la implementación se utilizarán las herramientas y técnicas predefinidas. Este prototipo está destinado a evaluar los progresos que se van haciendo, y por ende, retorna a etapas anteriores si es necesario.

En la arquitectura propuesta, la base de conocimiento estará representada en una matriz dentro del código php.

El objetivo de esta fase es dar a conocer al lector las herramientas con las que se desarrolló el sistema, la documentación necesaria para dar mantenimiento al sistema, así como también el resultado de las pruebas obtenidas en varios ambientes reales.

### 3.2.5.1 Herramientas

Para la realización del sistema se utilizaron las siguientes herramientas:

**Tabla 3. 6: Herramientas**

CARACTERÍSTICAS	HERRAMIENTAS	LOGO	VERSIÓN
Editor de Paginas	Adobe Dreamweaver		Css8
Servidor	Xampp Server		3.1
Navegadores Web	Internet Explorer Mozilla Firefox Google Chrome		8.0 13.0.1

**Fuente: Elaboración Propia**

### 3.2.5.2 Interfaces del Sistema

- **Acceso al Sistema**

La primera pantalla del Sistema es el acceso al sistema, en donde los usuarios deben colocar su cuenta de usuario y su contraseña para poder acceder al sistema.

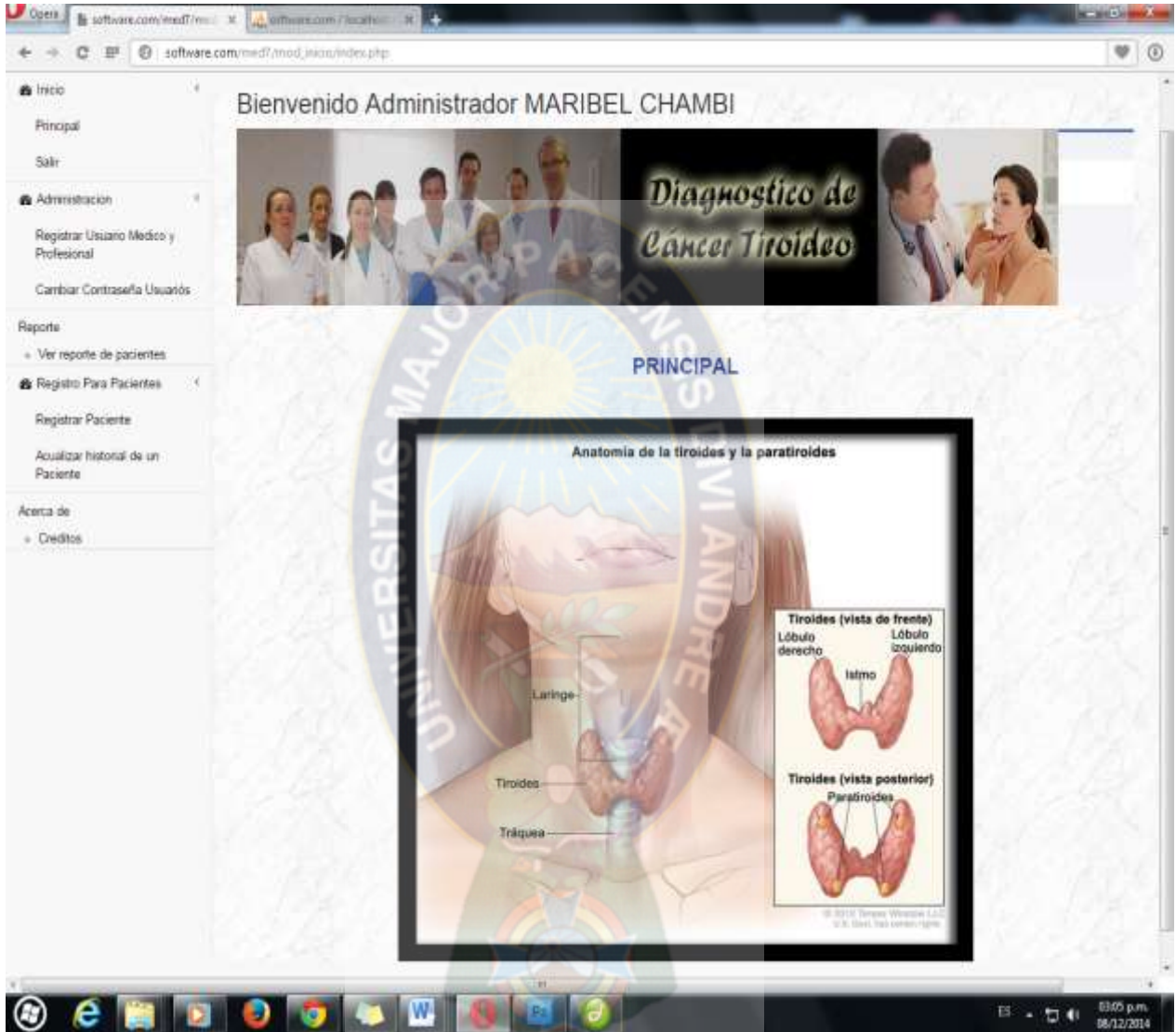
**Figura 3. 8: Acceso al Sistema**



**Fuente: Elaboración Propia**

- **Pantalla Principal Administrador**

**Figura 3. 9: Pantalla Principal para el Administrador del Sistema**



**Fuente: Elaboración Propia**

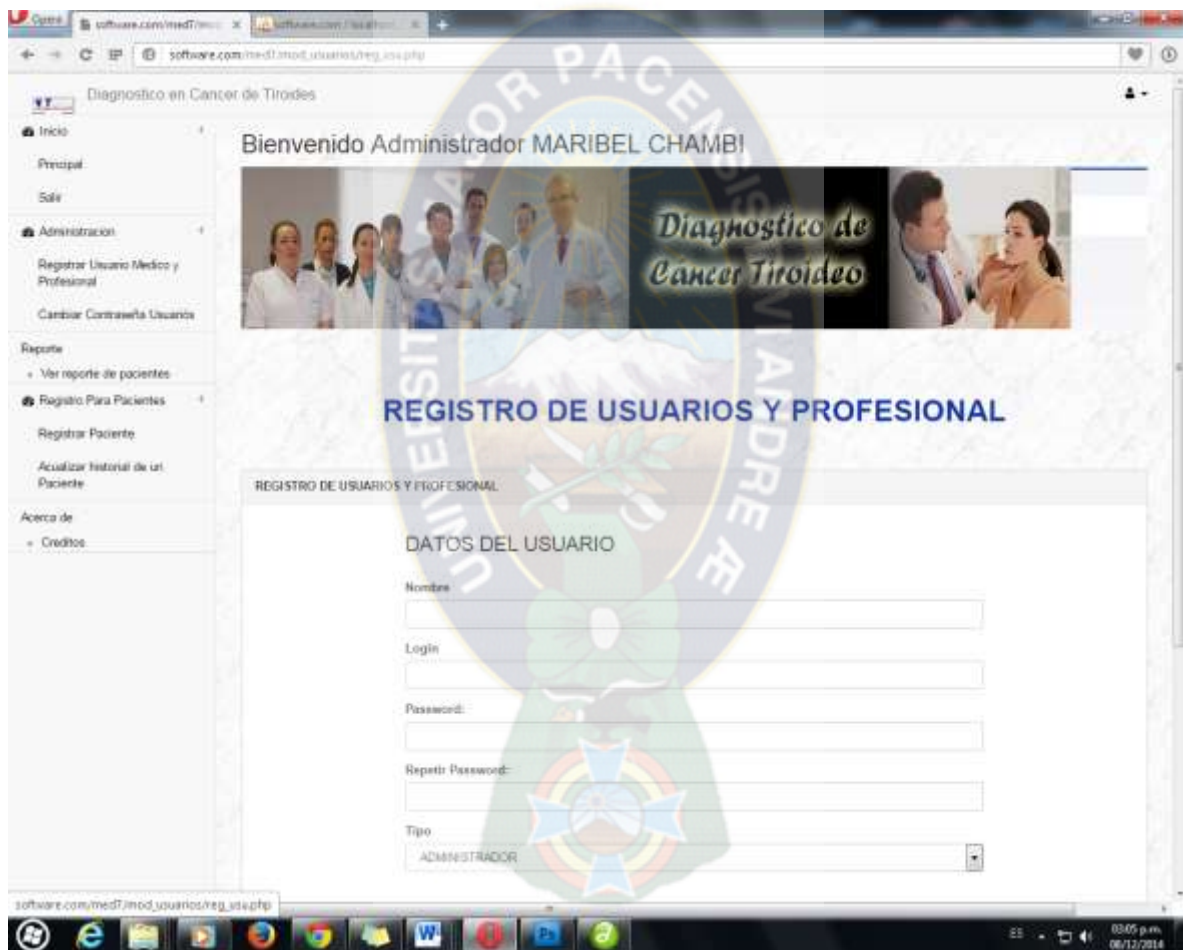
El Administrador puede tener acceso a todos los Módulos o Interfaces del Sistema, para su Mantenimiento.

- **Registros:**

### **Administración del Sistema**

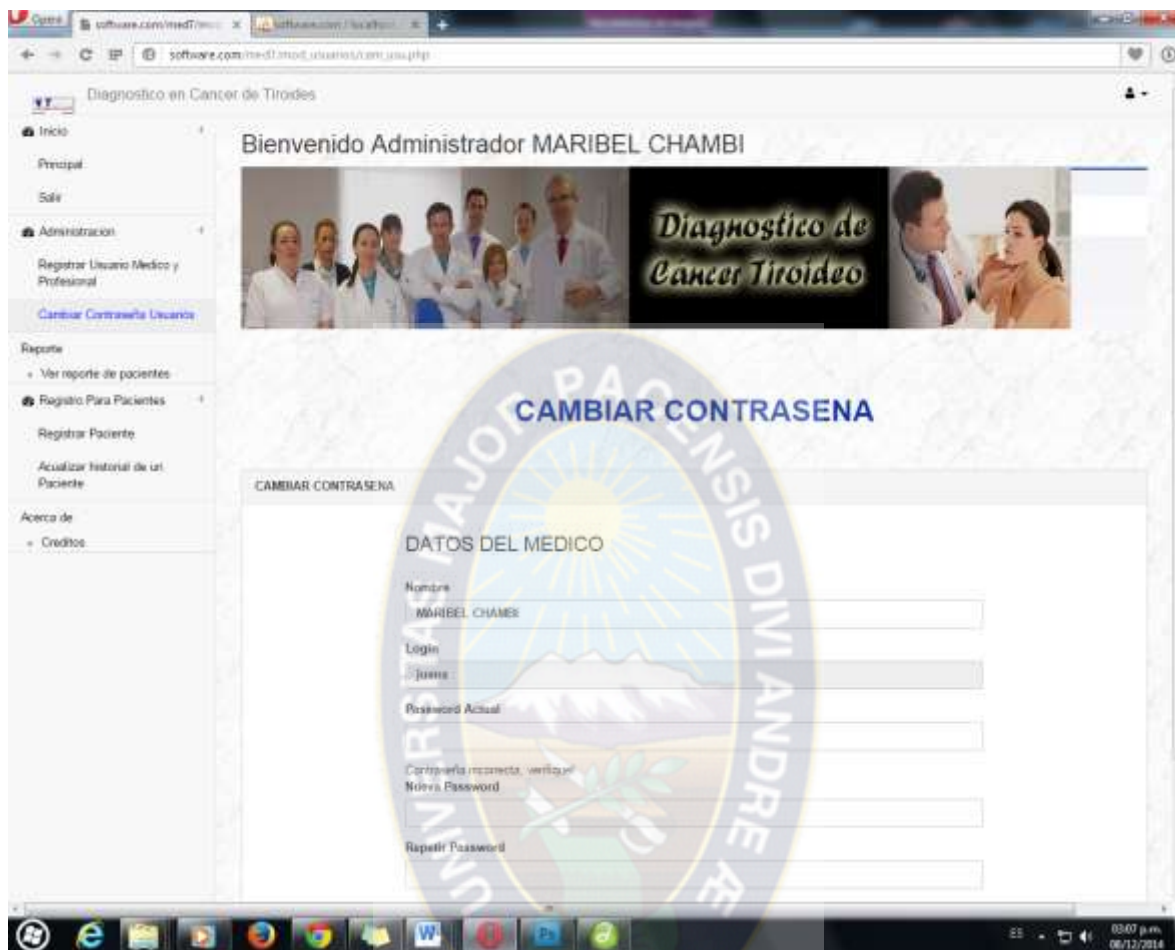
Permite ingresar los datos del Usuario (Administrador o asistente) y del profesional y el cambio de contraseñas

**Figura 3. 10: Pantalla Registro de Usuarios y Profesional**



**Fuente: Elaboración Propia**

**Figura 3. 11: Cambio de contraseñas**



**Fuente: Elaboración Propia**

### **Registro para Pacientes**

Permite ingresar los datos del Paciente, actualizar datos y brindar un diagnóstico final.

**Figura 3. 12: Pantalla Registro de Pacientes.**



**Fuente: Elaboración Propia**

Figura 3. 13: Pantalla de Actualización de datos

**ACTUALIZACION DATOS DEL PACIENTE**

**DATOS PERSONALES DEL PACIENTE**

Número de cédula

Cédula

Foto

Foto

Nombre

Apellido

Fecha de Nacimiento

Sexo

Teléfono

Dirección

País

Ciudad

Profesión

Estado Civil

Etnia

Grupos Sangüíneos

Virus

Peso

Talla

Medicamentos Que Tomó Actualmente

Enfermedad Que Tiene

Es importante tener los siguientes problemas de salud, por favor haga un chequeo completo

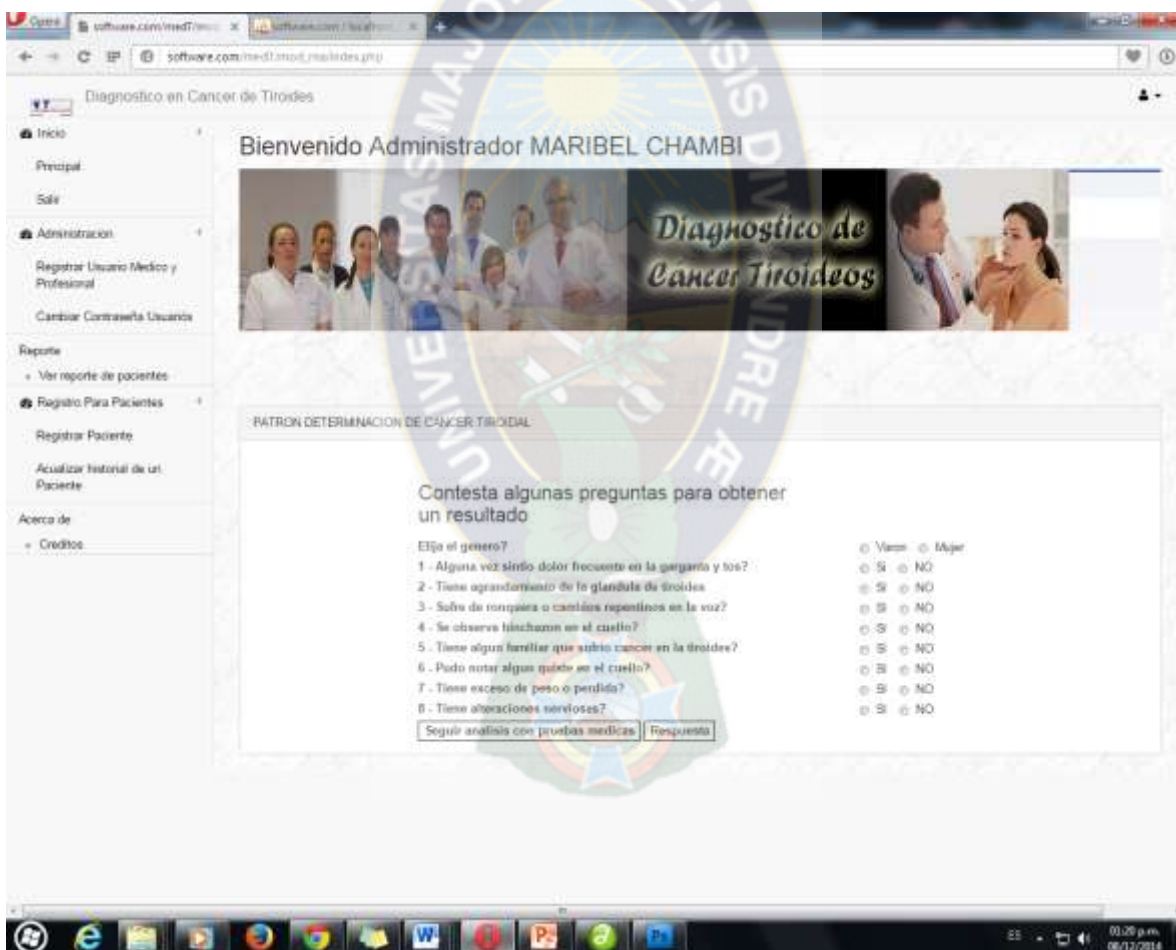
Fuente: Elaboración Propia



Dentro de la pantalla de actualización de datos se encuentra la pantalla de Diagnóstico de enfermedad, esta parte del sistema es la más importante, ya que permite generar el diagnóstico, se debe ir al final de la actualización, donde podemos observar el link de “Evaluar”.

En la siguiente figura, se observa, como actúa el Perceptrón en el sistema, es la parte de evaluación, donde genera el diagnóstico final.

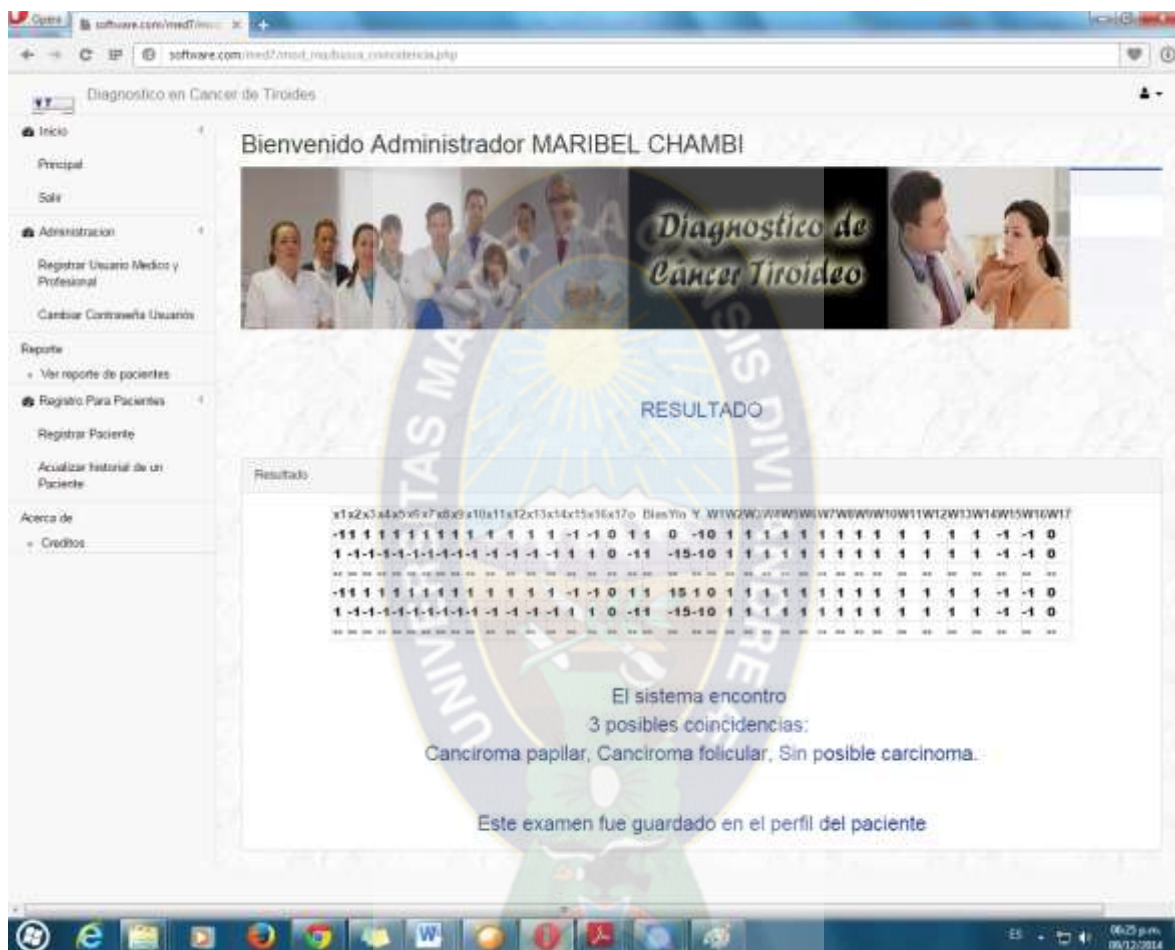
**Figura 3. 14: Pantalla de Diagnóstico de Cáncer Tiroideo**



**Fuente: Elaboración Propia**

Posteriormente procesa la información, llegando a dar un diagnóstico final, guardándolo dentro del historial de cada paciente.

**Figura 3. 15: Pantalla de diagnóstico final**



**Fuente: Elaboración Propia**

## CAPÍTULO IV

### PRUEBA DE HIPÓTESIS

#### 4.1 INTRODUCCIÓN

La evaluación del sistema se realizó en distintos lugares, se hizo el entrenamiento a la red neuronal tratando de abarcar todos los posibles casos existentes. Se observó gran diferencia en estos entrenamientos puesto que existían casos que requerían más tiempo de entrenamiento.

En este capítulo se desglosará la solución estadística aplicada al Sistema de Diagnóstico, para la comprobación de la hipótesis, en este caso hemos utilizado la prueba no paramétrica aleatoria de Rachas, detallada por pasos en el resto del capítulo.

#### 4.2 PRUEBA DE RACHAS DE WALD—WOLFOWITZ

La prueba de *rachas* sirve para determinar si una muestra de observaciones es o no aleatoria, es decir, para determinar si las observaciones de una determinada secuencia son independientes entre sí. En una serie temporal, por ejemplo, las observaciones no son aleatorias: lo que ocurre con una observación cualquiera depende, generalmente, de las características de la observación anterior. En una muestra aleatoria, por el contrario, debemos esperar que lo que ocurre con una observación cualquiera sea independiente de las características de la anterior (y de la siguiente).

El concepto de *racha* hace referencia a una secuencia de observaciones de un mismo tipo. Supongamos que lanzamos una moneda al aire 10 veces y que obtenemos el siguiente resultado:

CCCXCCXXXC

Tendremos 5 rachas: CCC, X, CC, XXX y C. A simple vista, el resultado obtenido parece *aleatorio*. Pero si en lugar de ese resultado hubiéramos obtenido este otro:

CCCCCXXXXX (2 rachas)

Resultaría fácil ponernos de acuerdo en que la secuencia obtenida no parece aleatoria. Como tampoco parece aleatoria una secuencia con demasiadas rachas:

CXCXCXCXCX (10 rachas)

Pues bien, la prueba de las rachas permite determinar si el número de rachas ( $R$ ) observado en una determinada muestra de tamaño  $n$  es lo suficientemente grande o lo suficientemente pequeño como para poder rechazar la hipótesis de independencia (o aleatoriedad) entre las observaciones<sup>22</sup>.

Para obtener el número de rachas es necesario que las observaciones estén clasificadas en dos grupos exhaustivos y mutuamente exclusivos (variable dicotómica). Si no lo están, deberemos utilizar algún criterio (mediana, media, moda, etc.) para hacer que lo estén (variable dicotomizada).

Una vez clasificadas las  $n$  observaciones en dos grupos (de tamaños  $n_1$  y  $n_2$ ), se utiliza una tipificación<sup>23</sup> del número de rachas ( $R$ ) para contrastar la hipótesis de aleatoriedad o independencia:

---

<sup>22</sup> Conviene no confundir la hipótesis de aleatoriedad con la hipótesis de bondad de ajuste estudiada a propósito de la prueba *binomial*. Obtener 5 caras y 5 cruces al lanzar una moneda 10 veces es un resultado que se ajusta perfectamente a la hipótesis de equiprobabilidad ( $\pi \text{ cara} = \pi \text{ cruz} = 0,5$ ), pero si las 5 caras salen al principio y las cinco cruces al final, esto haría dudar de la hipótesis de independencia o aleatoriedad.

<sup>23</sup> Si el tamaño muestral es menor que 50, el estadístico  $Z$  se obtiene utilizando la *corrección por continuidad* de la siguiente manera:

- Si  $R - E(R) < -0,5$ , se suma 0,5 a  $R$ . Es decir:  $Z = [R + 0,5 - E(R)]/\sigma R$ .
- Si  $R - E(R) > 0,5$ , se resta 0,5 a  $R$ . Es decir:  $Z = [R - 0,5 - E(R)]/\sigma R$ .
- Si  $|R - E(R)| \leq 0,5$ ,  $Z = 0$ .

$$Z = \frac{R - E(R)}{\sigma_R}$$

El estadístico  $Z$  se distribuye según el modelo de probabilidad normal  $N(0, 1)$ .

Para muestras aleatorias, la distribución de probabilidad de  $R$  tiende hacia la normal, a medida que  $N_1$  y  $N_2$ , se van agrandando, de tal manera que:

$$R \rightarrow N(E[R]) * \sqrt{\text{Var}[R]}$$

Siendo:

$$E(R) = (2 * N_1 * N_2 + N) / N$$

$$S(R) = (2 * N_1 * N_2 (2 * N_1 * N_2 - N_1 - N_2)) / (N_1 + N_2)^2 * (N_1 + N_2 - 1)$$

#### 4.3 DESARROLLO DE LA PRUEBA DE HIPÓTESIS

En la prueba realizada, se tomó como muestra a 18 personas, entre enfermeras, doctores y transeúntes de diferentes lugares que probaron el Sistema de diagnóstico de la enfermedad de Cáncer Tiroideo.

Se hizo una separación por grado de valides del diagnóstico de la enfermedad, respondiendo si el sistema ayuda en el diagnóstico certero o no, en un rango de 0 a 10.

**Tabla 4. 1: Pruebas del sistema**

Nº	Funciona (Y)	No Funciona (N)
1	10	0
2	2	8

3	7	3
4	8	2
5	10	0
6	5	5
7	3	7
8	10	0
9	8	2
10	5	5
11	7	3
12	10	0
13	3	7
14	8	2
15	4	6
16	10	0
17	8	2
18	3	7

[Fuente: Elaboración Propia]

Paso1: Se colocan los puntajes  $N_1 + N_2$  en una sola serie ordenada

**Tabla 4. 2: Prueba de Rachas**

0	0	0	0	0	2	2	2	2	2	3	3	3	3
N	N	N	N	N	Y	N	N	N	N	N	Y	N	Y

3	4	5	5	5	5	6	7	7	7	7	7	8	8
Y	Y	Y	N	Y	N	N	Y	N	Y	N	N	N	Y

8	8	8	10	10	10	10	10
Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y

[Fuente: Elaboración Propia]

## Paso2: SE DETERMINA EL NÚMERO DE RACHAS

En este caso son 14 rachas

## Paso3: HIPÓTESIS

H<sub>0</sub>: El modelo de Redes Neuronales Artificiales (R.N.A.) permite que el Sistema Experto diagnostique el cáncer Tiroidal con una confiabilidad del 90%, sirviendo de ayuda al especialista e incrementando la precisión y rapidez en el diagnóstico.

H<sub>1</sub>: El modelo de Redes Neuronales Artificiales (R.N.A.) no permite que el Sistema Experto diagnostique el cáncer Tiroidal con una confiabilidad del 90%.

## Paso 4: NIVEL DE SIGNIFICACIÓN

Para una muestra de 18 personas el nivel de significancia llegaría a ser 0.05

$$N = 36$$

$$\alpha = 0.05$$

$$N_1 = 18$$

$$N_2 = 18$$

$$R = 14$$

## Paso 5: REGLA DE DECISIÓN

La tabla muestra que para los valores de  $N_1 = 18$  y  $N_2 = 18$ , una  $R$  de 14 es significativa al nivel de 0.05.

$$E(R) = (2 * N_1 * N_2 + N) / N$$

$$= (2 * 18 * 18 + 36) / 36$$

$$= 19$$

$$S(R) = (2 * N_1 * N_2 (2 * N_1 * N_2 - N_1 - N_2)) / (N_1 + N_2)^2 * (N_1 + N_2 - 1)$$

$$= 648 (612) / 1296 * 35$$

$$= 8.743$$

Como regla de decisión al 90% de confianza, no se rechazará la hipótesis nula de aleatoriedad  $H_0$  si el número de rachas se encuentra en el intervalo:

$$[E(R) - S(R)] - [E(R) + S(R)]$$

En el presente caso tomamos los valores  $[10.257 - 27.743]$ , prueba que  $R = 14$ , pertenece al intervalo, de esta manera se acepta la hipótesis, por tan podemos afirmar:

$H_0$ : El modelo de Redes Neuronales Artificiales (R.N.A.) permite que el Sistema Experto diagnostique el cáncer Tiroidal con una confiabilidad del 90%, sirviendo de ayuda al especialista e incrementando la precisión y rapidez en el diagnóstico.



## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1 CONCLUSIONES

El Sistema Experto de Diagnostico de Cáncer Tiroideo, fue construido de acuerdo al análisis de los procedimientos médicos que los expertos pudieron dar, fue organizada mediante la metodología Buchanan y codificado en un lenguaje de programación PHP y el motor de base de datos en MYSQL correspondientemente, logrando los módulos básicos, y permitiendo alcanzar los objetivos del diagnóstico rápido, confiable y eficiente.

El Sistema Experto presentado y desarrollado en este trabajo de investigación cumple con todos los objetivos planteados, llegando a los resultados esperados.

En este trabajo se ha presentado un procesamiento a los síntomas de la enfermedad y a los resultados de las pruebas sanguíneas y biopsia, digitalizadas con el fin de implementar el modelo propuesto que lleve a cabo de manera satisfactoria el diagnóstico del Cáncer Tiroideo.

El prototipo refleja el proceso de extracción de características de la enfermedad, la fase de entrenamiento de la red neuronal, y el reconocimiento de la enfermedad para brindar un diagnóstico preciso.

En cuanto a la estructura de la red, para reducir el tamaño de la capa de entrada se utilizaron ciertas características que fueron analizadas tomando en cuenta aquellas que aportaban más información, lo cual permitió obtener un vector de entradas lo más representativo posible.

## 5.2 RECOMENDACIONES

En el prototipo descrito en esta investigación se aborda el análisis y el diseño de una red neuronal para problemas de diagnóstico aplicado a preguntas de rutina.

Las recomendaciones llegarías a presentarse para las líneas futuras de investigación:

- Se recomienda ampliar el prototipo en cuestión a más preguntas que puedan tener una mejor precisión en cuanto al diagnóstico de la enfermedad de Cáncer Tiroideo, tarea realizada actualmente por equipos especializados, que utilizan reactivos para lograr su cometido; y de esta manera incursionar sobre la investigación de otras alternativas computacionales para equipos médicos y de laboratorio.
- Otro aspecto importante es indagar sobre otras técnicas de selección de características, implementar otros clasificadores (posiblemente basados en redes neuronales más complejas) y experimentar con nuevas características que aumenten el desempeño de la tarea del diagnóstico.

## BIBLIOGRAFÍA

- [AMERICAN CANCER SOCIETY, 2014] AMERICAN CANCER SOCIETY.  
Atlanta, Ga: American Cancer Society,  
2014
- [ANTRÁS ET. AL., 1998] ANTRÁS ET. AL. Redes Neuronales Artificiales.  
Alfa y Omega. Madrid – España. 1998
- [BASOGAIN, 2003] BASOGAIN OLABE, XABIER. Redes Neuronales  
Artificiales y sus Aplicaciones. Escuela Superior de  
Ingeniería de Bilbao, UPV-EHU
- [DAYHOFF, 1990] DAYHOFF, J. Neural Networks Architectures: An  
Introduction Van Nostrand Reinhold, New York, 1990
- [DIHIGO & MENÉNDEZ, 1987] DIHIGO, Mario E. & MENÉNDEZ, Fernández José.  
Biología Humana: anatomía, fisiología e higiene. La  
Escuela Nueva, 1987
- [DRS. SCENZA A, LEPERA R, BRUNO G., 2014] DRS. SCENZA A, LEPERA R,  
BRUNO G., Historias clínicas  
comentadas: “Cáncer Papilar de  
Tiroides”. Hospital Maciel, Facultad de  
Medicina, 2014. Disponible en:  
[http://www.mednet.org.uy/cq3/estudiant  
es/hc-crpapilar.htm](http://www.mednet.org.uy/cq3/estudiant<br/>es/hc-crpapilar.htm)

- [DUSSAUCHOY, 1988] DUSSAUCHOY A. Sistemas expertos, métodos y herramientas, 1988, Paraninfo.
- [HILERA & MARTINEZ, 2000] HILERA, Jose R. & MARTINEZ, Victor J. Martinez. REDES NEURONALES ARTIFICIALES", 2000. Alfa omega. Madrid. España
- [MORET, 2005] MORET, V. Validación y Usabilidad De Sistemas Informáticos. Universidad Pág. 11- 13. [En línea]. [México]: 2005. [Citado Mayo 14. 2005]. Disponible World Wide Web:  
[http://data5.blog.de/media/851/3175851\\_44a18e4812\\_d.pdf](http://data5.blog.de/media/851/3175851_44a18e4812_d.pdf)
- [PEÑA, 2006] PEÑA Ayala, Alejandro. Sistemas basados en Conocimiento: Una Base para su Concepción y Desarrollo. D. R., 2010, México.
- [PIGNANI, 1998] PIGNANI Juan Manuel. Sistemas Expertos (Expert System). Informática aplicada a la ingeniería de procesos, 1998, Mexico.
- [RILEY, 2000] RILEY, G. Sistemas Expertos Principios y programación: Tercera Edición. México. E Ciencias Ingeniería. Pág. 1-6. [En línea]. [México]: Monterrey, [citado Enero 01, 2001]. Disponible en World Wide Web:  
<http://www.intercambiosvirtuales.org/libros-manuales/sistemas-expertos-principios-y-programacion-giarratano-y-riley-tercera-edicion>
- [RUIZ, 2005] RUIZ M., Sistemas Expertos para realización de Diagnóstico parálisis facial con electromiografía: parfac. Perú. Facultad de Ingeniería de Sistemas e Informática Universidad Nacional Mayor de

San Marcos. [En línea]. [Perú]: Lima, Abril 2002. Disponible en World Wide Web:

[http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/Tesis/Basic/carlos\\_sm/carlos\\_sm.PDF](http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/Tesis/Basic/carlos_sm/carlos_sm.PDF)

[STEVENS, 1984] STEVENS, L., Artificial Intelligence. The Search for the Perfect Machine. Hayden Book Company, Hasbrouck Heights. 1984, Madrid.

[SANCHEZ Y BELTRÁN, 1993] SANCHEZ, JUAN PABLO Y BELTRAN. METODOLOGIA BUCHANAN. [En línea]. [México]: 1993 [citado Agosto 23. 1995]. Disponible World Wide Web: [books.google.com.pe/books?isbn=9706040374](http://books.google.com.pe/books?isbn=9706040374)

[TORRES, GOMEZ, FENING, GONZALES, 1992] TORRES P, GÓMEZ G, FENIG J, GONZÁLEZ D. Citología tiroidea por aspiración, experiencia de doce años. Presentado en la XXXII Reunión Anual de la Sociedad Mexicana de Nutrición y Endocrinología; 1992 Diciembre 2-5; Acapulco, Guerrero, México.

[DEMUTH & BEALE, 2007] DEMUTH & BEALE. Howard Demuth y Mark Beale. *Neural Network Toolbox: for use with MATLAB*. 2007. The MathWorks. User Guide. Versión 4.