

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



**TESIS DE GRADO**

**“SISTEMA EXPERTO PARA EL DIAGNOSTICO  
DEL HIPOTIROIDISMO E HIPERTIROIDISMO”**

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

**POSTULANTE : GISEL CECILIA PAYE LUNA**

**TUTOR METODOLÓGICO: M. Sc. FRANZ CUEVAS QUIROZ**

**ASESOR: Lic. FREDDY MIGUEL TOLEDO PAZ**

**LA PAZ – BOLIVIA**

**2017**



**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.**

## **DEDICATORIA**

Esta presente tesis la dedico primeramente a mis papas Julio Paye y Juana Luna, por su amor, paciencia y comprensión que siempre

me brindaron en el transcurso de mi carrera, fueron mi motivación y mi guía profesional para seguir adelante.

A mis hermanos Keyla, José, Silvana y Leslie por apoyarme y guiarme en todo momento.

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios porque siempre me ayudo en cada paso concluido, por su amor incondicional, que me da las fuerzas para seguir adelante.

A mi familia, por su apoyo, preocupación y consejos que siempre me brindaron en mi vida universitaria, y por ser un reflejo profesional a seguir.

A mi tutor M. Sc. Franz Cuevas Quiroz por su paciencia, su colaboración, su experiencia y su tutoría en la presente tesis

A mi asesor Lic. Freddy Miguel Toledo Paz por guiarme en las diferentes etapas de mi tesis, por su asesoramiento, colaboración, observaciones y correcciones. También por el tiempo brindado a la guía en el desarrollo de este trabajo.

## RESUMEN

En la presente tesis se pretende mostrar el apoyo que brindan los sistemas expertos en la medicina, en la actualidad la tecnología avanza la cual da diferentes modos de detección de enfermedades, una de ellas son los sistemas expertos, donde es una rama de la Inteligencia Artificial, que realiza una fusión de un experto emulando su conocimiento para apoyar al usuario en la toma de decisiones.

Se desarrolló un prototipo de sistema experto para la detección del Hipotiroidismo e Hipertiroidismo, donde utiliza la lógica difusa para la determinación del diagnóstico.

El diseño de la tesis cuenta con los signos y síntomas del paciente considerados como variables de entrada, el motor de inferencia cuenta con la base de hechos, base de reglas que contiene el conocimiento formalizado y estructurado y finalmente la interfaz, que interactúa con el usuario.

De esta manera el sistema experto no pretende sustituir en su función al médico especialista, sino de apoyarlo dando un diagnóstico con un grado de certeza.

Para llevar a cabo la investigación se realizó la revisión bibliográfica para conocer los factores de riesgo que generan la enfermedad el cual abarca el estudio en el área de la endocrinología y está orientado a personas mayores a 30 años donde implica sus síntomas y signos que tiene como objetivo detectar con un nivel de gravedad e informar al usuario sobre esta problemática.

Posteriormente se realiza la implementación del software con las herramientas swi prolog.

## ABSTRACT

In the present thesis is to show the support provided by expert systems in medicine, currently the technology advances which gives different ways of detecting diseases, one of them are expert systems, where it is a branch of Artificial Intelligence, which performs a fusion of an expert emulating their knowledge to support the user in making decisions.

A prototype of an expert system was developed for the detection of Hypothyroidism and Hyperthyroidism, where it uses fuzzy logic to determine the diagnosis.

The design of the thesis has the signs and symptoms of the patient considered as input variables, the inference engine has the basis of facts, rules base that contains the formalized and structured knowledge and finally the interface, which interacts with the user.

In this way, the expert system does not intend to substitute the specialist physician in its function, but rather to support it by giving a diagnosis with a degree of certainty.

In order to carry out the research, a bibliographic review was carried out to know the risk factors that generate the disease, which includes the study in the area of endocrinology and is oriented to people over 30 years old where it implies its symptoms and signs that it has as objective to detect with a level of severity and inform the user about this problem.

Subsequently, the implementation of the software with swi prolog tools is carried out.

## CONTENIDO

Pág.	Nro.
CAPITULO I.....	1
MARCO REFERENCIAL .....	1
1.1 Introducción .....	1
1.2 Antecedentes .....	2
1.3 Planteamiento del problema.....	4
1.4 Definición de objetivos .....	5
1.4.1 Objetivo general .....	5
1.4.2 Objetivos específicos.....	5
1.5 Hipótesis.....	5
1.6 Justificación.....	6
1.7 Alcances y limites .....	6
1.7.1 Limites.....	6
1.7.2 Alcances .....	7
CAPITULO II .....	8
MARCO TEÓRICO.....	8
2.1 Inteligencia artificial .....	8
2.1.1 Temas fundamentales de la inteligencia artificial. ....	9
2.1.2 Ramas que componen la inteligencia artificial.....	10
2.2 Lógica difusa.....	10
2.2.1 Conjuntos difusos .....	11
2.2.2 Operaciones de conjuntos difusos .....	12
2.2.3 Funciones de pertenencia .....	14
2.2.4 El controlador difuso .....	15
a) Fusificación.....	16

b)	Base de conocimiento .....	16
c)	Inferencia.....	16
d)	Defusificación .....	16
2.3	Sistemas expertos .....	16
2.3.1	Componentes de un sistema experto .....	17
2.3.2	Desarrollo de un sistema experto .....	17
2.4	Metodología de Buchanan.....	19
a)	Fase 1: identificación .....	19
b)	Fase 2: conceptualización .....	20
c)	Fase 3: formalización .....	20
d)	Fase 4: implementación.....	20
e)	Fase 5: prueba .....	20
2.5	Árbol de decisión .....	20
2.6	Hipertiroidismo e hipotiroidismo.....	23
2.6.1	Hipertiroidismo .....	23
2.6.1.1	Etiología.....	23
2.6.1.2	Manifestaciones clínicas .....	26
2.6.1.3	Tratamiento .....	28
2.6.1.4	Diagnóstico .....	28
2.6.2	Hipotiroidismo.....	29
2.6.2.1	Etiología.....	31
2.6.2.2	Manifestaciones clínicas.....	34
2.6.2.3	Diagnóstico.....	36
2.6.2.4	Tratamiento.....	37
	CAPITULO 3 .....	39
	MARCO DE APLICATIVO.....	39
3.1	Fase 1: identificación .....	39



3.2	Fase 2: Conceptualización.....	41
3.2.1	Extracción de conocimiento .....	41
3.3	Fase 3: formalización .....	44
3.3.1	Base de conocimiento.....	45
3.3.2	Motor de inferencia .....	51
3.3.2.1	Fuzzificación de variables lingüísticas .....	51
3.3.2.2	Base de hechos.....	53
3.3.2.3	Base de reglas .....	55
3.3.2.4	Defuzzificación de variables lingüísticas .....	60
3.4	Fase 4: Implementación .....	64
3.4.1	Prototipo .....	64
	CAPITULO 4 .....	68
	PRUEBA DE HIPOTESIS.....	68
4.1	Contraste de Rachas de Wald –Wolfowitz.....	68
4.1.1	Desarrollo de la prueba de hipótesis.....	70
	CAPITULO 5 .....	74
	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	74
5.1	Conclusiones .....	74
5.2	Recomendaciones.....	75
	BIBLIOGRAFIA.....	76
	ANEXOS.....	78

## CONTENIDO DE FIGURAS

Figura 2.2.1: Ejemplo de Conjuntos Difusos .....	11
Figura 2.2.2: Función de transferencia para un conjunto difuso triangular. ....	14
Figura 2.3.1: Componentes típicos de un sistema experto.....	17
Figura 2.3.2: Etapas en el desarrollo de un sistema experto. ....	18
Figura 2.5.1: Estructura de un árbol de decisión.....	22
Figura 2.6.1: Expresión facial en hipotiroidismo e hipertiroidismo .....	23
Figura 2.6.2: Actitud ante el hipotiroidismo subclínico.....	37
Figura 3.1.1: Participantes que intervienen en el Sistema Experto.....	40
Figura 3.1.2: Componentes del Sistema Experto desde adquisición de conocimiento.....	40
Figura 3.3.1: Árbol de decisión del Hipotiroidismo.....	49
Figura 3.3.2: Árbol de decisión del Hipertiroidismo .....	50
Figura 3.3.3: Grado de pertenencia para Hipotiroidismo.....	51
Figura 3.3.4: Grado de pertenencia para Hipertiroidismo.....	52
Figura 3.4.1: Pantalla de inicio.....	64
Figura 3.4.2: Pantalla de verificación de edad .....	65
Figura 3.4.3: Pantalla del tipo de diagnóstico de enfermedad .....	66
Figura 3.4.4: Rol de preguntas 1 para dicha detección .....	66
Figura 3.4.5: Rol de preguntas 2 para dicha detección .....	67
Figura 3.4.6: Diagnóstico emitido por el Sistema Experto .....	67

**CONTENIDO DE TABLAS**

Tabla 2.6-1: Recomendaciones diarias ingesta de yodo (OMS) .....	33
Tabla 2.6-2: Características diferenciales entre hipotiroidismo primario y central. .....	36
Tabla 3.3-1: Valores iniciales del Hipotiroidismo .....	45
Tabla 3.3-2: Síntomas y signos característicos del Hipotiroidismo .....	45
Tabla 3.3-3: Valores iniciales del Hipertiroidismo .....	47
Tabla 3.3-4: Síntomas y signos característicos del Hipertiroidismo .....	47
Tabla 3.3-5: Función de pertenencia nivel de gravedad del Hipotiroidismo. ....	51
Tabla 3.3-6: Función de pertenencia nivel de gravedad del Hipertiroidismo. ....	52
Tabla 4.1-1: Comparación entre el diagnóstico del médico y el sistema experto	70
Tabla 4.1-2: Sumas Totales de Rachas.....	72

## **CAPITULO I**

### **MARCO REFERENCIAL**

#### **1.1 Introducción**

Los Sistemas Expertos fueron desarrollados por la comunidad de Inteligencia Artificial a mediados de los años '60. En este periodo de investigación de Inteligencia Artificial se creía que algunas pocas reglas de razonamiento sumadas a computadoras que podían producir un experto o rendimiento súper humano. Un intento en esta dirección fue el GPS<sup>1</sup> (Turban, 1995).

Un Sistema Experto denotado como SE, es básicamente un programa de computadora basado en conocimientos y raciocinio que lleva a cabo tareas que generalmente sólo realiza un experto humano; es decir, es un programa que imita el comportamiento humano en el sentido de que utiliza la información que le es proporcionada para poder dar una opinión sobre un tema en especial.

El experto humano es una persona que es competente en un área determinada del conocimiento o del saber. Un experto humano es alguien que sabe mucho sobre un tema

---

<sup>1</sup> General Purpose Problem Solver (Solucionador de problemas de propósito general)

determinado y que puede dar un consejo adecuado. Esta experiencia sólo se adquiere tras un largo aprendizaje y a base de mucha experiencia.

Con la presente tesis se pretende ayudar tanto a las personas que padecen de estas enfermedades como a los médicos especialistas de forma en que podamos agilizar su tiempo, realizando un sistema experto para el diagnóstico del hipotiroidismo e hipertiroidismo utilizando lógica difusa a partir de una base de conocimientos adquirida por un experto Endocrinólogo e información recuperada de artículos, libros escrito por especialistas, los cuales nos ayudara a construir el prototipo.

Podemos observar que existe bastante gente que padece de hipotiroidismo o hipertiroidismo y no todos tienen la posibilidad de asistir a una consulta médica, por lo cual se recurre a la automedicación ya sea medicina natural o a los fármacos.

Para lo cual las personas podrían ver la manera más fácil de hacerse un diagnóstico en poco tiempo, para por lo menos saber si una de estas dos enfermedades padece y recurrir a un médico especialista en el área.

## **1.2 Antecedentes**

Según Badaro, Ibañez y Agüero (2013). Los siguientes son Sistemas Expertos que fueron clave para el éxito en el avance dentro el campo de la informática:

**DENDRAL:** Primer Sistema Experto en ser utilizado para propósitos reales, al margen de la investigación computacional, y durante aproximadamente 10 años, el sistema tuvo cierto éxito entre químicos y biólogos, ya que facilitaba enormemente la inferencia de estructuras moleculares, dominio en el que Dendral estaba especializado (Turban, 1995).

**MYCIN:** Es un Sistema Experto para la realización de diagnósticos, iniciado por Ed Feigenbaum y posteriormente desarrollado por E. Shortliffe. Su función es la de aconsejar a los médicos en la investigación y determinación de diagnósticos en el campo de las enfermedades infecciosas de la sangre (Nebendahl, 1991).

CADUCEUS: Fue un Sistema Experto médico programado para realizar diagnósticos en medicina interna. Fue completado a mediados de la década de 1980, si bien el inicio de su desarrollo se remonta a la década de 1970, siendo programado por Harry Pople, de la Universidad de Pittsburgh y tomando como punto de partida una serie de entrevistas de Pople al Dr. Jack Meyers. Pretendía mejorar el MYCIN, sistema focalizado sobre las bacterias infecciosas de la sangre (Nebendahl, 1991).

XCON: El programa R1<sup>2</sup> era un sistema de producción basado en reglas escrito en OPS5 por John P. McDermott de CMU (1978) con el propósito de asistir a los pedidos de los sistemas de computadores VAX de DEC<sup>3</sup> seleccionando los componentes del sistema de acuerdo a los requerimientos del cliente. El desarrollo de XCON siguió a dos fracasos de escribir un Sistema Experto para esta tarea en FORTRAN y BASIC (Nebendahl, 1991).

Como antecedentes de trabajos realizados anteriormente en la Carrera de Informática de la Universidad Mayor de San Andrés se encuentran:

“Sistema experto para el diagnóstico de enfermedades dermatológicas”, la cual proporciona un sistema basado en conocimiento, haciendo que el sistema se encuentre ubicado de manera pública en internet y facilite la consulta del paciente (Lazo, 2011).

“Modelo de diagnóstico y tratamiento de pancreatitis aguda mediante lógica difusa”, desarrolla un sistema experto aplicando lógica difusa así ayudando a que esta enfermedad sea detectada más fácilmente, donde aplica lógica difusa para determinar el tratamiento (Mendoza, 2011).

“Sistema experto para el diagnóstico y tratamiento de enfermedades reumáticas del tejido conectivo basado en lógica difusa”, desarrolla un sistema experto para mejorar el diagnóstico y tratamiento, la lógica difusa se utiliza para adquirir el tratamiento de estas enfermedades (Mencia, 2015).

---

<sup>2</sup> Llamado XCON, por Configurador Experto

<sup>3</sup>Digital Equipment Corporation

“Sistema basado en conocimiento para diagnóstico de displasia de cadera niñas de 3 a 12 meses”, desarrolla un sistema basado en conocimiento para el diagnóstico de displasia de cadera para niñas de 3 a 12 meses de edad, aplicando reglas de producción que permite obtener un diagnóstico confiable, de tal manera que coadyuve al experto y a la vez tenga un impacto social proporcionando conocimientos para una adecuada información de los factores de riesgo de esta malformación (Paricollo, 2012).

“Sistema experto para el diagnóstico de enfermedades diarreicas agudas en niños menores de 5 años basado en lógica difusa”, obtiene la base de conocimientos, previene las complicaciones que se puede tener de esta enfermedad, construye una base de conocimientos y evalúa los resultados obtenidos en el sistema experto (Enrriquez, 2012).

### **1.3 Planteamiento del problema**

Las enfermedades de la glándula tiroidea, hipotiroidismo e hipertiroidismo, son importantes dada su prevalencia y su importancia pronostica en algunos casos, como en el nódulo tiroideo. Sus causas van desde las originadas por déficit nutricionales (déficit de yodo), las auto inmunitarias (enfermedad de Graves-Basedow, tiroiditis de Hashimoto, etc.) y neoplásicas, entre muchas otras.

En la Caja Nacional de Salud, la incidencia en las mujeres es de 10 a 15 por cada 10 mil personas, mientras que en los hombres se presentan en 4 o 5.

Existen personas que sufre de estas enfermedades, y recurrir a un médico rápidamente se es difícil ya sea el costo, el tiempo, la despreocupación son problemas para que este tipo de enfermedades.

A consecuencia de la situación de la problemática que presentan bastantes personas se plantea el siguiente problema:

**El sistema experto de Diagnóstico del Hipotiroidismo e Hipertiroidismo basado en lógica difusa, ¿Será capaz de diagnosticar de manera rápida y eficiente?**

Se determinaron los siguientes problemas secundarios:

- La atención a una consulta sobre todo un análisis detallado es costoso por lo que no todos pueden ser atendidos.
- Bajo interés sobre síntomas, lo que provoca la automedicación.
- Poco acceso o nulo a la tecnología para acudir a un tratamiento o un diagnóstico.
- Baja información sobre las causas que provoca el hipotiroidismo e hipertiroidismo

## **1.4 Definición de objetivos**

### **1.4.1 Objetivo general**

Construir un prototipo de un sistema experto para el diagnóstico del hipotiroidismo e hipertiroidismo, en personas mayores a 30 años, basado en lógica difusa.

### **1.4.2 Objetivos específicos**

- Elaborar una base de conocimientos que coadyuve a la realización del sistema.
- Obtener información del médico especialista, libros, artículos, etc., para la implementación del motor de inferencias.
- Utilizar lógica difusa para determinar el diagnóstico de las enfermedades.
- Realizar un sistema que coadyuve en la labor de los médicos especialistas.
- Aplicar lógica difusa para una mejor evaluación.

## **1.5 Hipótesis**

El diseño de un Sistema Experto coadyuvará al diagnóstico del Hipertiroidismo e Hipotiroidismo.



## **1.6 Justificación**

El sistema experto colaborara en el acceso a consulta médica inmediata donde no se tenga acceso a un médico especialista endocrinólogo, para su mejor atención al problema el sistema estará disponible las 24 horas del día para cualquier consulta.

La implementación del prototipo, se lo realizara con herramientas de software libre, como swi prolog, por lo que no se realizaran gastos económicos considerables.

Para la realización de la base de conocimientos sobre el hipotiroidismo e hipertiroidismo se recurrirá a entrevistas con médicos especialistas en el área, también se recurrirá a mediaciones tecnológicas.

## **1.7 Alcances y limites**

### **1.7.1 Limites**

El sistema solo diagnosticara las enfermedades de hipotiroidismo e hipertiroidismo en personas mayor o igual a los 30 años.

El sistema a realizar dará un 50% exacto a los estudios de especialistas realizados al paciente.

El sistema no dará sugerencias de tipos de tratamientos que se realice a personas que sufren de la enfermedad.

El sistema experto coadyuvará al especialista, siendo una herramienta útil, no brindará el diagnóstico final.

Esta investigación está destinada a toda aquella persona que desee realizarse un diagnóstico previo en el Estado Plurinacional de Bolivia y dará un acceso Universal.

### 1.7.2 Alcances

El prototipo permitirá apoyar al diagnóstico y las causas de la enfermedad facilitando la rápida detección del hipotiroidismo e hipertiroidismo tanto en mujeres y hombres para un tratamiento a posteriori.

Así se apoyara al especialista de manera que este podrá agilizar los estudios médicos de la enfermedad, sin tener que pasar por laboratorios u otros centros de detección.

El prototipo basándose en los síntomas y signos del paciente preservara todos los conocimientos de expertos en hipotiroidismo e hipertiroidismo, para luego el médico especialista pueda sugerir un tratamiento adecuado en base a la investigación realizada respecto a este tipo de enfermedad.



## **CAPITULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1 Inteligencia artificial**

Existen diferentes definiciones según autores:

Según Haugeland (1985), define la inteligencia artificial como “El nuevo y excitante esfuerzo de hacer que los computadores piensen... maquinas con mentes, en el más amplio sentido literal”.

Según Bellman (1978), “La automatización de actividades que vinculamos con procesos de pensamiento humano, actividades como la toma de decisiones, resolución de problemas, aprendizaje...”

Según Kurzweil (1990), “El arte de desarrollar maquinas con capacidad para realizar funciones que cuando son realizadas por personas requieren de inteligencia”.

Según Rich y Knight (1991), “El estudio de cómo lograr que os computadores realicen tareas que, por el momento, los humanos hacen mejor”.

Según Charniak y McDermott (1985), “El estudio de las facultades mentales mediante el uso de modelos computacionales”.

Según Winston (1992), “El estudio de los cálculos que hacen posible percibir, razonar y actuar”.

Según Poole (1998), “La inteligencia Computacional es el estudio del diseño de agentes inteligentes”.

Según Nilsson (1998), “Inteligencia Artificial... está relacionada con conductas inteligentes en artefactos”.

La Inteligencia Artificial denotado como IA siempre ha tenido como modelo natural las funcionalidades inteligentes del hombre, enfocándose en distintos aspectos. Su primera motivación fue intentar construir máquinas que pudieran pensar como el ser humano, o al menos emularle en alguna capacidad de tal modo que denotara cierta inteligencia (Ponce, 2010).

La Inteligencia Artificial es una de las disciplinas más nuevas. Formalmente se inicia en 1956 cuando se acuñó el término, no obstante que ya para entonces se había estado trabajando en ello durante cinco años. Junto con la genética moderna, la IA es el campo en que la mayoría de los científicos de otras disciplinas les gustaría trabajar. El estudio de la inteligencia es una de las disciplinas más antiguas. Desde hace más de 2000 años los filósofos se han esforzado por comprender cómo se ve, se aprende, se recuerda y se razona, así como la manera en que esas actividades deberían realizarse (Ponce, 2010).

### **2.1.1 Temas fundamentales de la inteligencia artificial.**

Según Ponce (2010), el campo de la IA se compone de varias áreas de estudio, las más comunes e importantes son:

- Búsqueda de soluciones
- Sistemas expertos
- Procesamiento del lenguaje natural
- Reconocimiento de modelos
- Robótica
- Aprendizaje de las máquinas
- Lógica

- Incertidumbre y “lógica difusa”

### **2.1.2 Ramas que componen la inteligencia artificial**

Según Ponce (2010), mencionó que existen varios elementos que componen la ciencia de la IA, dentro de los cuales se pueden encontrar tres grandes ramas:

- Lógica difusa
- Redes neurales artificiales
- Algoritmos genéticos

Cada una consta de características especiales, así como de una función específica. En las siguientes secciones se exponen más específicamente dichas tecnologías.

## **2.2 Lógica difusa**

Según Ponce (2010), la lógica difusa es una rama de la Inteligencia Artificial que le permite a una computadora analizar información del mundo real en una escala entre lo falso y verdadero. Los matemáticos dedicados a la lógica en la década de 1920 definieron un concepto clave: todo es cuestión de grado. La lógica difusa manipula conceptos vagos como “caliente” o “húmedo” y permite a los ingenieros construir televisores, acondicionadores de aire, lavadores y otros dispositivos que juzgan información difícil de definir. Los sistemas difusos son una alternativa a las nociones de pertenencia y lógica que se iniciaron en la Grecia antigua.

Cuando los matemáticos carecen de algoritmos que dictan cómo un sistema debe responder a ciertas entradas, la lógica difusa puede controlar o describir el sistema usando reglas de sentido común que se refieren a cantidades indefinidas. Los sistemas difusos frecuentemente tienen reglas tomadas de expertos, pero cuando no hay experto los sistemas difusos adaptivos aprenden las reglas observando cómo la gente manipula sistemas reales.

Según Vargas (2009), la lógica difusa permite tratar con información que no es exacta o con un alto grado de imprecisión a diferencia de la lógica convencional la cual trabaja

con información precisa. El problema principal surge de la poca capacidad de expresión de la lógica clásica.

### 2.2.1 Conjuntos difusos

La necesidad de trabajar con conjuntos difusos surge del hecho que existen conceptos que no tienen límites claros. Un conjunto difuso se encuentra asociado por un valor lingüístico que está definido por una palabra, etiqueta lingüística o adjetivo. En los conjuntos difusos la función de pertenencia puede tomar valores del intervalo entre 0 y 1, y la transición del valor entre cero y uno es gradual y no cambia de manera instantánea como pasa con los conjuntos clásicos. Un conjunto difuso en un universo en discurso puede definirse como lo muestra la siguiente ecuación.

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

Donde  $\mu_A(x)$  es la función de pertenencia de la variable  $x$ , y  $U$  es el universo en discurso. Cuando más cerca está la pertenencia del conjunto  $A$  al valor de 1, mayor será la pertenencia de la variable  $x$  al conjunto  $A$ , esto se puede ver en la Figura 2.2.1.

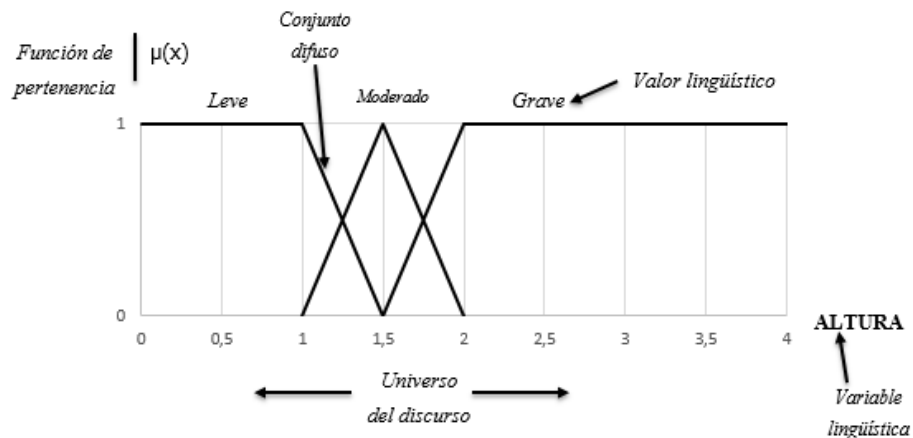


Figura 2.2.1: Ejemplo de Conjuntos Difusos

Fuente: Vargas, 2009.

## 2.2.2 Operaciones de conjuntos difusos

Las tres operaciones básicas que se definen sobre conjuntos crisp (complemento, unión e intersección), pueden generalizarse de varias formas en conjuntos difusos. No obstante, existe una generalización particular que tiene especial importancia. Cuando se restringe el rango de pertenencia al conjunto  $[0; 1]$ , estas operaciones “estándar” sobre conjuntos difusos se comportan de igual modo que las operaciones sobre conjuntos crisp.

Dichas operaciones se definen del siguiente modo:

$$\begin{aligned}\mu_{\bar{A}}(x) &= 1 - \mu_A(x) \\ \mu_{A \cap B}(x) &= \perp [\mu_A(x), \mu_B(x)] \\ \mu_{A \cup B}(x) &= T [\mu_A(x), \mu_B(x)]\end{aligned}$$

### 1. Unión

La forma generalizada de la unión es la T-conorma. Podemos definirla con la siguiente función:

$$\begin{aligned}\perp : [0, 1] \times [0, 1] &\rightarrow [0, 1] \\ \mu_{A \cup B}(x) &= \perp [\mu_A(x), \mu_B(x)]\end{aligned}$$

Para que una función se pueda considerar como una unión difusa, debe satisfacer los

$\forall a, b, c \in [0, 1]$  siguientes axiomas :

U1) Elemento Neutro:  $\perp(a, 0) = a$

U2) Conmutatividad:  $\perp(a, b) = \perp(b, a)$

U3) Monotonía: Si  $a \leq c$  y  $b \leq d$  entonces  $\perp(a, b) = \perp(c, d)$

U4) Asociatividad:  $\perp(\perp(a, b), c) = \perp(a, \perp(b, c))$

Algunas T-conormas ampliamente utilizadas son:

Máximo:  $\perp(a, b) = \max(a, b)$

Producto:  $\perp(a, b) = (a + b) - (a \times b)$

Suma limitada (o de Lukasiewicz):  $\perp(a, b) = \min(a + b, 1)$

## 2. Intersección

La forma generalizada de la intersección se denomina T-norma. Es una función de la forma:

$$T : [0, 1] \times [0, 1] \rightarrow [0, 1]$$

$$\mu_{A \cap B}(x) = T[\mu_A(x), \mu_B(x)]$$

Una T-norma satisface los siguientes axiomas  $\forall a, b, c \in [0, 1]$

- 1) Elemento unidad:  $T(a, 1) = a$
- 2) Conmutatividad:  $T(a, b) = T(b, a)$
- 3) Monotonía: Si  $a \leq c$  y  $b \leq d$  entonces  $T(a, b) = T(c, d)$
- 4) Asociatividad:  $T(T(a, b), c) = T(a, T(b, c))$

Algunas T-normas ampliamente utilizadas son:

Mínimo:  $T(a, b) = \min(a, b)$

Producto algebraico:  $T(a, b) = ab$

Diferencia limitada (o de Lukasiewicz):  $T(a, b) = \max(0, a + b - 1)$

## 3. Complemento

El complemento  $\bar{A}$  de un conjunto difuso A, se denota por  $cA$ ; está definido por una función  $c : [0, 1] \rightarrow [0, 1]$  del tipo  $c(a) = 1 - a$ . Tiene que satisfacer los siguientes axiomas:

C1) Condiciones límite o frontera:  $c(0) = 1 \vee c(1) = 0$ .

C2) Monotonía:  $\forall a, b \in [0, 1]$  Si  $a < b$  entonces  $c(a) \geq c(b)$

C3) c es una función continua.

C4) c es involutiva  $\forall a \in [0, 1]$  tenemos  $c(c(a)) = a$ .



Al igual que sucedía con los operadores de unión y de intersección, también para el complemento existen gran variedad de clases. Uno de los más utilizados, además del complemento clásico ( $\mu_{\bar{A}}(x) = c(a) = 1 - \mu_A(x)$ ), es el  $\lambda$ -complemento de Sugeno, que viene definido por la siguiente expresión:

$$\mu_{\bar{A}^\lambda}(x) = \frac{1 - \mu_A(x)}{1 + \lambda \mu_A(x)} \quad \text{con } \lambda \in (-1, \infty)$$

Como se puede observar, si  $\lambda = 0$ , la función se comporta como el complemento clásico. Además, para cada valor de  $\lambda$ , obtenemos una expresión particular para el complemento. Otro tipo de complemento borroso muy utilizado es el de Yager, que se define con la siguiente expresión:

$$\mu_{\bar{A}^w}(x) = (1 - \mu_A(x)^w)^{1/w} \quad \text{con } w \in (0, \infty)$$

Al igual que con el complemento de Sugeno, cambiando el valor de  $w$  obtenemos distintos tipos de complemento. Si  $w = 1$  tenemos el complemento clásico.

### 2.2.3 Funciones de pertenencia

Aun cuando cualquier función puede ser válida para definir un conjunto difuso, existen ciertas funciones que son más comúnmente utilizadas por su simplicidad matemática, entre éstas se encuentran las funciones de tipo triangular, mostrado en la figura 2.2.2, trapezoidal mostrado en la figura 2.2.3, gaussiana, etc.

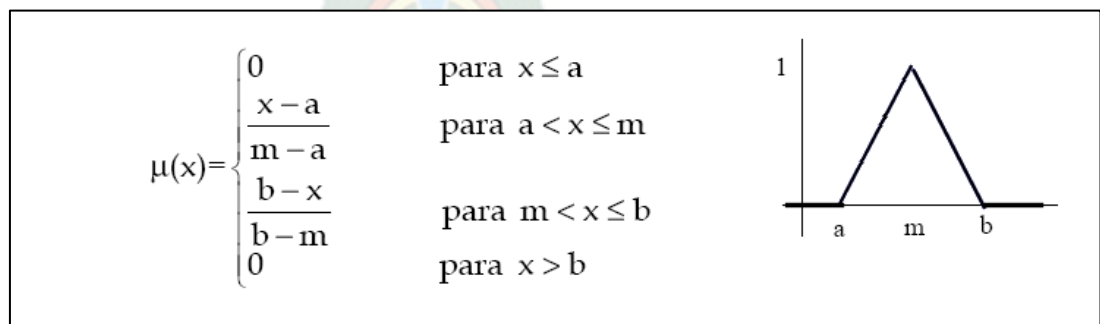


Figura 2.2.2: Función de transferencia para un conjunto difuso triangular.

Fuente: Vargas, 2009.

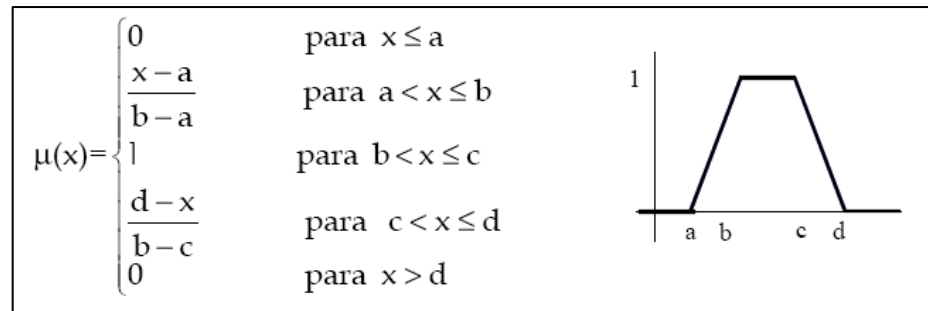


Figura 2.2.3: Función de transferencia para un conjunto difuso trapezoidal.

Fuente: Vargas, 2009.

## 2.2.4 El controlador difuso

La lógica difusa se aplica principalmente en sistemas de control difuso que utilizan expresiones ambiguas para formular reglas que controlen el sistema. Un sistema de control difuso trabaja de manera muy diferente a los sistemas de control convencionales. Estos usan el conocimiento experto para generar una base de conocimientos que dará al sistema la capacidad de tomar decisiones sobre ciertas acciones que se presentan en su funcionamiento.

Los sistemas de control difuso permiten describir un conjunto de reglas que utilizaría una persona para controlar un proceso y a partir de estas reglas generar acciones de control. El control difuso puede aplicarse tanto en sistemas muy sencillos como en sistemas cuyos modelos matemáticos sean muy complejos. La estructura de un controlador difuso se muestra en la figura 2.2.4.

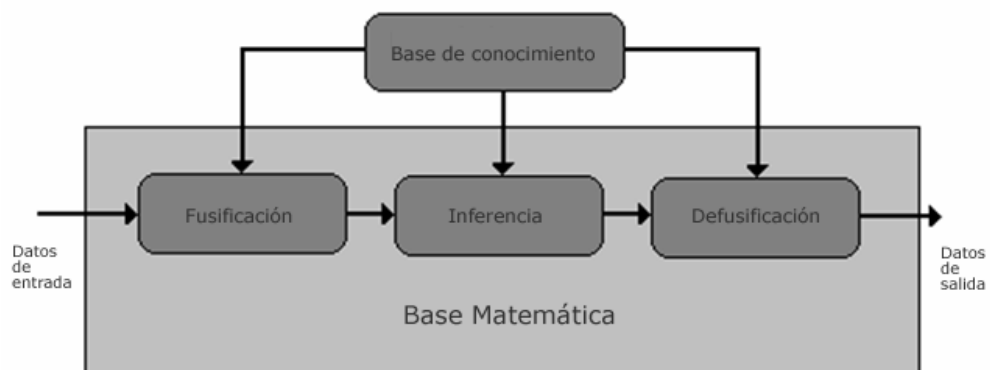


Figura 2.2.4: Estructura de un modelo difuso.

Fuente: Vargas, 2009.

### **a) Fusificación**

La fusificación tiene como objetivo convertir valores crisp o valores reales en valores difusos. En la fusificación se asignan grados de pertenencia a cada una de las variables de entrada con relación a los conjuntos difusos previamente definidos utilizando las funciones de pertenencia asociadas a los conjuntos difusos.

### **b) Base de conocimiento**

La base de conocimiento contiene el conocimiento asociado con el dominio de la aplicación y los objetivos del control. En esta etapa se deben definir las reglas lingüísticas de control que realizarán la toma de decisiones que decidirán la forma en la que debe actuar el sistema.

### **c) Inferencia**

La inferencia relaciona los conjuntos difusos de entrada y salida para representar las reglas que definirán el sistema. En la inferencia se utiliza la información de la base de conocimiento para generar reglas mediante el uso de condiciones, por ejemplo: si caso1 y caso2, entonces acción1.

### **d) Defusificación**

La defusificación realiza el proceso de adecuar los valores difusos generados en la inferencia en valores crisp, que posteriormente se utilizarán en el proceso de control. En la defusificación se utilizan métodos matemáticos simples como el método del Centroide, Método del Promedio Ponderado y Método de Membresía del Medio del Máximo.

## **2.3 Sistemas expertos**

Según Castillo, Gutiérrez y Hadi (2010), un sistema experto puede definirse como un sistema informático, hardware y software, que simula a los expertos humanos en un área de especialización dada.

Como tal, un sistema experto debería ser capaz de procesar y memorizar información, aprender y razonar en situaciones deterministas e inciertas, comunicar con los hombres y/u otros sistemas expertos, tomar decisiones apropiadas, y explicar por qué se han

tomado tales decisiones. Se puede pensar también en un sistema experto como un consultor que puede suministrar ayuda a los expertos humanos con un grado razonable de fiabilidad.

### 2.3.1 Componentes de un sistema experto

Según Castillo, Gutiérrez y Hadi (2010), estas componentes se muestran esquemáticamente en la Figura 2.3.1 y se explican seguidamente:

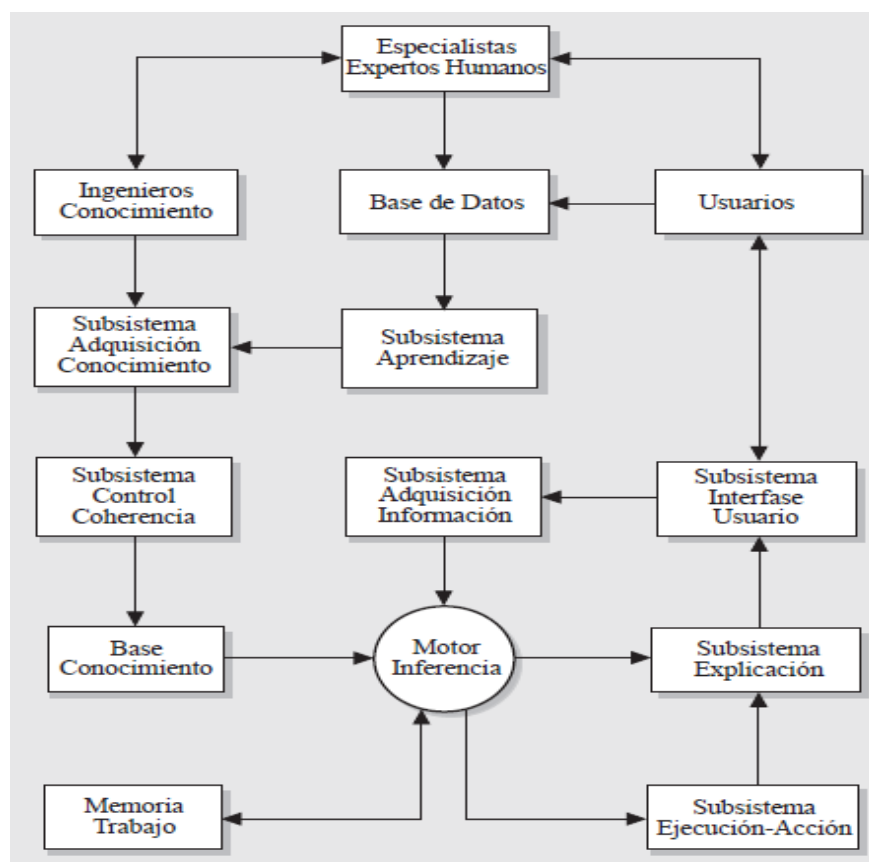


Figura 2.3.1: Componentes típicos de un sistema experto.

Fuente: Castillo, Gutiérrez y Hadi, 2010.

### 2.3.2 Desarrollo de un sistema experto

Weiss y Kulikowski (1984), sugieren las etapas siguientes para el diseño e implementación de un sistema experto.

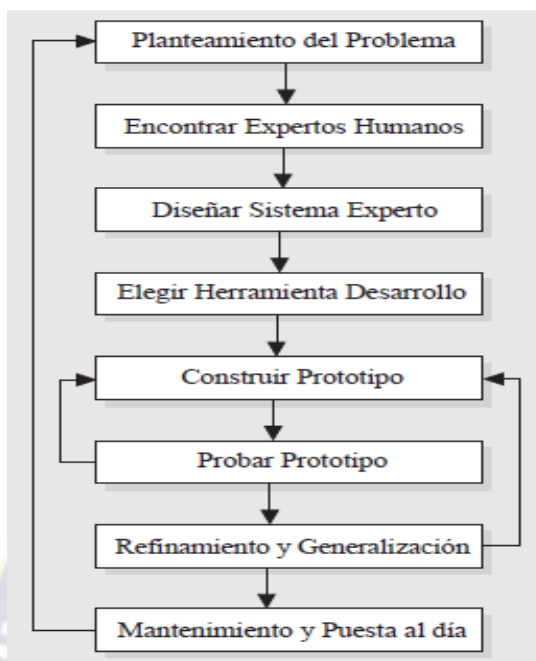


Figura 2.3.2: Etapas en el desarrollo de un sistema experto.

Fuente: Castillo, Gutiérrez y Hadi, 2010.

- **Planteamiento del problema**

La primera etapa en cualquier proyecto es normalmente la definición del problema a resolver. Puesto que el objetivo principal de un sistema experto es responder a preguntas y resolver problemas, esta etapa es quizás la más importante en el desarrollo de un sistema experto. Si el sistema está mal definido, se espera que el sistema suministre respuestas erróneas.

- **Encontrar expertos humanos que puedan resolver el problema.**

En algunos casos, sin embargo, las bases de datos pueden jugar el papel del experto humano.

- **Diseño de un sistema experto**

Esta etapa incluye el diseño de estructuras para almacenar el conocimiento, el motor de inferencia, el subsistema de explicación, la interface de usuario, etc.

- **Elección de la herramienta de desarrollo, concha, o lenguaje de programación**

Debe decidirse si realizar un sistema experto a medida, o utilizar una concha, una herramienta, o un lenguaje de programación. Si existiera una concha satisfaciendo todos los requerimientos del diseño, esta debería ser la elección, no solo por razones de tipo financiero sino también por razones de fiabilidad. Las conchas y herramientas comerciales están sujetas a controles de calidad, a los que otros programas no lo están.

- **Desarrollo y prueba de un prototipo**

Si el prototipo no pasa las pruebas requeridas, las etapas anteriores (con las modificaciones apropiadas) deben ser repetidas hasta que se obtenga un prototipo satisfactorio.

- **Refinamiento y generalización**

En esta etapa se corrigen los fallos y se incluyen nuevas posibilidades no incorporadas en el diseño inicial.

- **Mantenimiento y puesta al día**

En esta etapa el usuario plantea problemas o defectos del prototipo, corrige errores, actualiza el producto con nuevos avances.

## **2.4 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 cinco son fundamentales:

### **a) 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).

### **b) 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.

### **c) Fase 3: 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.

### **d) Fase 4: 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.

### **e) Fase 5: 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.

## **2.5 Árbol de decisión**

Según Barrientos et al. (2009), un árbol de decisión es un modelo de predicción cuyo objetivo principal es el aprendizaje inductivo a partir de observaciones y construcciones

lógicas. Son muy similares a los sistemas de predicción basados en reglas, que sirven para representar y categorizar una serie de condiciones que suceden de forma sucesiva para la solución de un problema. Constituyen probablemente el modelo de clasificación más utilizado y popular.

El conocimiento obtenido durante el proceso de aprendizaje inductivo se representa mediante un árbol. Un árbol gráficamente se representa por un conjunto de nodos, hojas y ramas. El nodo principal o raíz es el atributo a partir del cual se inicia el proceso de clasificación; los nodos internos corresponden a cada una de las preguntas acerca del atributo en particular del problema.

Cada posible respuesta a los cuestionamientos se representa mediante un nodo hijo. Las ramas que salen de cada uno de estos nodos se encuentran etiquetadas con los posibles valores del atributo<sup>2</sup>. Los nodos finales o nodos hoja corresponden a una decisión, la cual coincide con una de las variables clase del problema a resolver. Ver Figura 2.5.1.

Este modelo se construye a partir de la descripción narrativa de un problema, ya que provee una visión gráfica de la toma de decisión, especificando las variables que son evaluadas, las acciones que deben ser tomadas y el orden en el que la toma de decisión será efectuada. Cada vez que se ejecuta este tipo de modelo, sólo un camino será seguido dependiendo del valor actual de la variable evaluada. Los valores que pueden tomar las variables para este tipo de modelos pueden ser discretos continuos.

### **Recorrido de un árbol de decisión**

Un algoritmo de generación de árboles de decisión consta de 2 etapas: la primera corresponde a la inducción del árbol y la segunda a la clasificación.

En la primera etapa se construye el árbol de decisión a partir del conjunto de entrenamiento; comúnmente cada nodo interno del árbol se compone de un atributo de prueba y la porción del conjunto de entrenamiento presente en el nodo es dividida de acuerdo con los valores que pueda tomar ese atributo.



La construcción del árbol inicia generando su nodo raíz, eligiendo un atributo de prueba y dividiendo el conjunto de entrenamiento en dos o más subconjuntos; para cada partición se genera un nuevo nodo y así sucesivamente.

Cuando en un nodo se tienen objetos de más de una clase se genera un nodo interno; cuando contiene objetos de una clase solamente, se forma una hoja a la que se le asigna la etiqueta de la clase.

En la segunda etapa del algoritmo cada objeto nuevo es clasificado por el árbol construido; después se recorre el árbol desde el nodo raíz hasta una hoja, a partir de la que se determina la membresía del objeto a alguna clase.

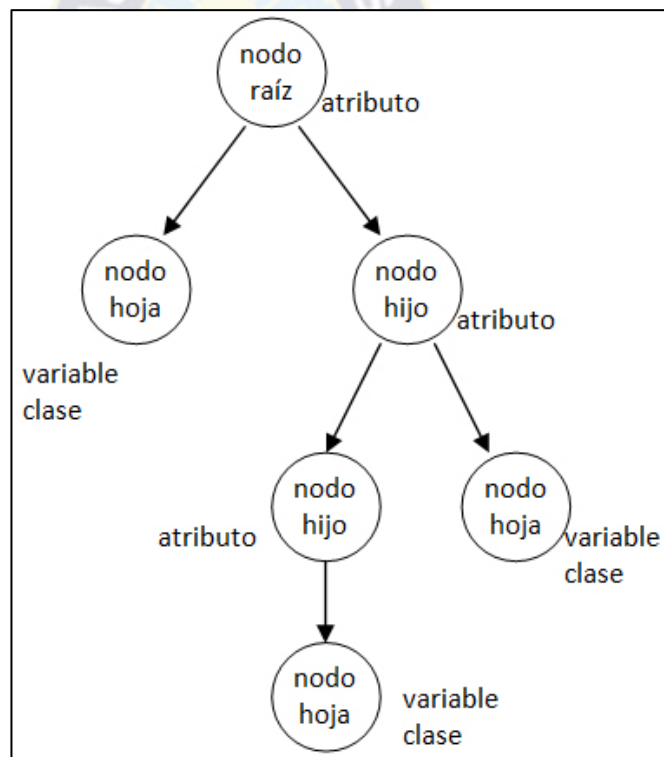


Figura 2.5.1: Estructura de un árbol de decisión.

Fuente: Barrientos et al., 2009.

## 2.6 Hipertiroidismo e hipotiroidismo

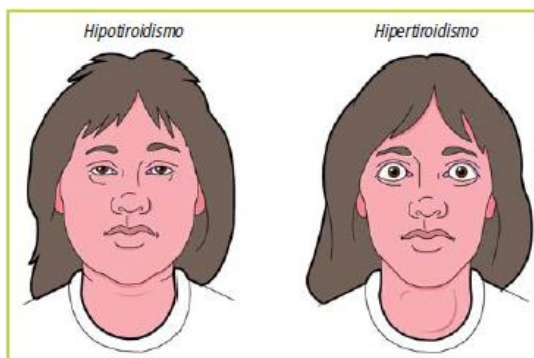


Figura 2.6.1: Expresión facial en hipotiroidismo e hipertiroidismo

Fuente: American Thyroid Association, 2014.

### 2.6.1 Hipertiroidismo

Según Castillo, Díaz y Troncoso (2001), la Tirotoxicosis es el término general para referirse a la presencia de niveles elevados de hormonas tiroideas debido a cualquier causa. Hipertiroidismo es la tirotoxicosis que resulta de una sobreproducción de hormonas tiroideas por la glándula tiroides.

Según Anton, Marcuello y Truchuelo (2008), la prevalencia del hipertiroidismo en la población general es de alrededor de 1%. El hipertiroidismo, al igual que el resto de las enfermedades tiroideas, se presenta con mayor frecuencia en el sexo femenino (5:1) en todas las edades de la vida.

#### 2.6.1.1 Etiología

La causa más frecuente, en más del 70% de las personas, es la sobreproducción de hormona tiroidea por parte de la glándula tiroides. Esta condición también se conoce como enfermedad de Graves. La enfermedad de Graves es causada por anticuerpos en la sangre, los cuales estimulan a la glándula tiroides a crecer y a segregar exceso de hormona tiroidea. Este tipo de hipertiroidismo tiende a ocurrir en familias, y es más frecuente en mujeres jóvenes (American Thyroid Association, 2014).

Se sabe muy poco el por qué algunas personas adquieren esta enfermedad. Otro tipo de hipertiroidismo se caracteriza por uno o varios bultos en la tiroides que pueden crecer

gradualmente y aumentar su actividad, de modo que la cantidad de hormona tiroidea liberada en la sangre es mayor que lo normal. Esta condición se conoce como Bocio tóxico nodular o multinodular. También, las personas pueden tener síntomas temporales de hipertiroidismo si tienen una afección llamada tiroiditis. Esta es causada por un problema con el sistema inmune o una infección viral que hace que la glándula libere hormona tiroidea. También puede ser causado por la ingestión de cantidad excesiva de hormona tiroidea en forma de tabletas (American Thyroid Association, 2014).

Según Anton, Marcuello y Truchuelo (2008) la enfermedad de Graves es la causa más frecuente de hipertiroidismo en el adulto en edades medias de la vida, y especialmente en mujeres jóvenes. Se trata de una enfermedad multisistémica de origen autoinmune, que se caracteriza por la asociación de: hipertiroidismo, bocio (que es característicamente difuso, esponjoso a la palpación y presenta, como consecuencia de su extraordinaria vascularización, en más del 50% de los casos, un soplo sistólico a la auscultación de la glándula y un thrill palpable) y signos extra tiroideos que incluyen alteraciones oftálmicas (oftalmopatía que aparece en más del 50% de los pacientes y no tiene relación con la alteración tiroidea) y dérmicas (mixedema pretibial o dermatopatía tiroidea, de la que debes recordar para dermatología: es frecuente su asociación a oftalmopatía).

Las lesiones son placas o nódulos firmes elevados, asimétricos, de coloración rosada o con tonalidades marrones que afectan a la cara anterior de piernas y dorso de pies. Son depósitos dérmicos de mucopolisacáridos. El tratamiento se hace con corticoides tópicos potentes, con escaso beneficio. La normalización de la función tiroidea no modifica la evolución de la lesión cutánea).

Para el diagnóstico clínico no es necesaria la presencia de todas las características clínicas que se mencionan en la definición. Una característica de la enfermedad de Graves es la presencia en el suero de auto anticuerpos (inmunoglobulinas IgG) estimulantes del tiroides, que son capaces de interactuar con el receptor de membrana para TSH e inducir una respuesta biológica consistente en la elevación de los niveles intracelulares de AMP cíclico y en la hipersecreción hormonal.

Se denominan TSI («thyroid stimulating immunoglobulins») o TSAb («thyroid stimulating antibodies»). Existe una clara predisposición genética para desarrollar la enfermedad de Graves, habiéndose relacionado su aparición con determinados haplotipos HLA, sobre todo HLA DR3 y HLA B8. Esta entidad puede asociarse a otros trastornos autoinmunes órgano específicos, como anemia perniciosa, vitíligo, miastenia gravis, insuficiencia suprarrenal u ovárica primarias o a alteraciones no órgano específico como artritis reumatoide o lupus eritematoso. Desde el punto de vista anatómico patológico se caracteriza por hipertrofia e hiperplasia del parénquima (aumento de la altura del epitelio, repliegues papilares) asociado a infiltración linfocitaria que refleja su naturaleza autoinmune.

El bocio multinodular hiperfuncionante es la causa más frecuente de hipertiroidismo en el anciano. Algunos de los nódulos pueden derivar de folículos tiroideos con capacidad autónoma de síntesis hormonal, mientras que otros provienen de folículos con escasa capacidad biosintética, con lo que la consecuencia final será un tiroides multinodular con varios nódulos hiperfuncionantes (“calientes” en la gammagrafía) que alternan con otros normo o hipofuncionantes (“fríos” gammagráficamente).

El adenoma autónomo hiperfuncionante (adenoma tóxico) ocurre en un 20% de los pacientes portadores de un adenoma tiroideo. La mayoría de los pacientes con adenomas hiperfuncionantes pertenecen a los grupos de edad avanzada, con una proporción mujer/varón alta. Suelen ser de gran tamaño, con más de 3 cm de diámetro. El hallazgo característico de estos pacientes es la presencia de un nódulo único, que en la gammagrafía concentra intensamente el radiotrazador y se acompaña de una supresión casi total de la captación del isótopo en el resto de la glándula.

El fenómeno Jod-Basedow. La administración de yodo en sus diversas formas a pacientes que presentan nódulos con capacidad de funcionamiento autónomo puede desencadenar también un hipertiroidismo. El yodo se encuentra en altas concentraciones en contrastes radiológicos orales o intravenosos, en preparados expectorantes y en la amiodarona.

La mola hidatiforme y el coriocarcinoma liberan grandes cantidades de hCG. La hCG es una estimuladora débil del tejido tiroideo, que actúa activando los receptores de TSH. La extirpación de la mola o el tratamiento quimioterápico del coriocarcinoma curará este trastorno.

Las tiroiditis subaguda y linfocitaria con tirotoxicosis transitoria pueden cursar con una fase transitoria de hipertiroidismo como consecuencia de la destrucción inflamatoria de la glándula y la liberación plasmática de las hormonas previamente sintetizadas. La destrucción tisular que ocurre tras el tratamiento con yodo <sup>131</sup> puede inducir a una exacerbación de hipertiroidismo (tiroiditis postyodo radiactivo).

El struma ovarii y las metástasis de un carcinoma tiroideo son raras entidades capaces de producir hipersecreción de hormona tiroidea de forma ectópica, con el consiguiente desarrollo de hipertiroidismo.

El hipertiroidismo patógeno puede producirse en casos de administración de dosis tóxicas de hormonas tiroideas, pero también puede aparecer tras la administración de dosis terapéuticas, especialmente en pacientes con bocios uni o multinodulares en situación de autonomía funcional, es decir con supresión de TSH.

La tirotoxicosis facticia se caracteriza por clínica de hipertiroidismo, gammagrafía abolida y tiroglobulina baja. Las hormonas serán: TSH baja con T4 y T3 altas (si toma un preparado con T4) o bien T3 alta y T4 baja (si toma sólo T3) y no hay bocio. Se debe a la ingesta de hormona tiroidea por el paciente de forma subrepticia

Hipertiroidismo por amiodarona. La amiodarona posee un alto contenido de yodo en su molécula. La administración de este fármaco se ha asociado a la producción de hipotiroidismo, bocio simple y también hipertiroidismo

### **2.6.1.2 Manifestaciones clínicas**

La exposición tisular a niveles elevados de hormonas tiroideas condiciona un estado catabólico con incremento en el consumo de oxígeno y aumento del tono simpático, que condiciona en gran parte la clínica. El paciente hipertiroideo presenta un aspecto pletórico con nerviosismo, debilidad, labilidad emocional, disminución del rendimiento,

sudoración excesiva e intolerancia al calor. Suele tener un tránsito intestinal aumentado y, aunque no es frecuente la diarrea, sí existe un incremento en el número de deposiciones. El apetito está incrementado, pero la pérdida calórica generalmente condiciona una paradójica pérdida de peso.

Las hormonas tiroideas poseen un efecto crono trópico e inotrópico positivo e incrementan la demanda periférica de oxígeno debido al estado hipercatabólico que provocan. El exceso de hormonas tiroideas puede causar diversos tipos de arritmia. No es infrecuente la presentación de un hipertiroidismo en un paciente anciano con una fibrilación auricular resistente al tratamiento digitalice.

El hipertiroidismo puede ser una causa tratable de insuficiencia cardíaca, y suele responder adecuadamente al tratamiento anti tiroideo. Es común la agravación de una cardiopatía isquémica preexistente debido a los efectos miocárdicos de las hormonas tiroideas.

El hipertiroidismo no tratado de larga evolución puede cursar con reducción de la masa ósea, hipercalciuria y ocasionalmente hipercalcemia. El exceso de hormonas tiroideas a nivel neuromuscular causa debilidad generalizada, miopatía proximal, temblor finodistal, mioclonías, movimientos coreoatetósicos (sobre todo en los niños) e hiperreflexia.

A nivel cutáneo, el hipertiroidismo cursa con prurito, piel caliente y sudorosa, mixedema localizado o pretibial (enfermedad de Graves), acropaquias, alopecia y uñas de Plummer (cóncavas y con onicólisis distal).

### **Hipertiroidismo apático o enmascarado**

Es una forma frecuente de manifestación en la senectud. El paciente presenta pérdida de peso, debilidad muscular, depresión, lentitud mental, apatía y con frecuencia síntomas cardiovasculares en ausencia de las manifestaciones sistémicas clásicas de la hiperfunción tiroidea, como la hiperactividad generalizada, nerviosismo y aumento de apetito.

## **Hipertiroidismo neonatal**

Es un trastorno poco común que a veces, no siempre, se observa en niños nacidos de madres con historia de hipertiroidismo por enfermedad de Graves (en <5% de los mismos). En su patogenia se ha relacionado el paso transplacentario de TSI; la determinación de TSI en las mujeres embarazadas con enfermedad de Graves en el último trimestre del embarazo puede ayudar a predecir qué niños desarrollarán hipertiroidismo neonatal.

El diagnóstico se hace con la combinación de una clínica compatible junto con la H<sup>a</sup> de la madre. La mayoría son RNPT y CIR que pueden presentar bocio, irritabilidad, hiperactividad, exoftalmos y taquicardia.

### **2.6.1.3 Tratamiento**

- 1) Propranolol: para disminuir la sobre estimulación cardíaca.
- 2) Yoduros y propiltiouracilo: para suprimir la secreción de hormonas tiroideas.
- 3) Si están severamente afectados: corticoides.

### **2.6.1.4 Diagnóstico**

En el diagnóstico del hipertiroidismo, debemos seguir 2 pasos: 1° hacer el diagnóstico de hipertiroidismo (mediante la determinación de los niveles hormonales) y, en 2° lugar, buscar cuál es su etiología, utilizando dos pruebas básicas (gammagrafía y anticuerpos).

La determinación de los niveles séricos de las hormonas tiroideas. Es la prueba de laboratorio más importante cuando se sospecha el diagnóstico de hiperfunción tiroidea. La confirmación diagnóstica del hipertiroidismo requiere la determinación del índice de T4 libre o de la estimación directa de los niveles de T4 libre.

La concentración de T3 también suele elevarse en el hipertiroidismo. Su determinación completa la información suministrada por la T4 libre y podría ser solicitada en los casos que la T4 fuese normal y se mantuviese la sospecha de hiperfunción tiroidea.

Algunos pacientes, especialmente los ancianos, presentan nódulos hiperfuncionantes, o algunos casos de enfermedad de Graves pueden presentar elevación aislada de T3, fenómeno conocido como tirotoxicosis T3.

Determinación de TSH. El desarrollo de métodos inmunométricos ha permitido la estandarización de técnicas muy sensibles de determinación de TSH y hoy es el método de screening inicial. Los niveles de TSH se encuentran suprimidos en el hipertiroidismo debido a la acción inhibitoria de las hormonas tiroideas sobre la célula tirotrofa hipofisaria, exceptuando los casos en los que la hiperfunción se debe a la secreción de TSH por la hipófisis. La presencia de concentraciones normales de TSH casi siempre excluye la existencia de un hipertiroidismo. Lo contrario, sin embargo, no es cierto, ya que los niveles de TSH pueden estar disminuidos en enfermedades no tiroideas (síndrome de enfermedad sistémica no tiroidea), con la toma de algunos fármacos como AAS, corticoides y dopamina, y en algunos ancianos.

El síndrome de enfermedad sistémica no tiroidea (antes llamado sd. del eutiroideo enfermo) es un conjunto de cambios en la función tiroidea asociados a enfermedades graves, traumatismos y estrés fisiológico. Las anomalías detectadas consisten en alteraciones del transporte y metabolismo periférico de las hormonas tiroideas e incluso de su regulación por TRH a nivel hipotalámico.

Estas anomalías condicionan cambios en las concentraciones de las hormonas tiroideas circulantes.

La disminución de la producción de T3 por inhibición de la 5' monodesyodación de T4 es un hallazgo constante, lo que condiciona una disminución de la concentración de T3 libre. La concentración de T4 total se encuentra dentro de los límites normales en los sujetos moderadamente enfermos, disminuyendo a niveles bajos en los pacientes más graves. La TSH puede ser normal o baja, según la gravedad del proceso. T3R está aumentada siempre, ya que la vía metabólica de 5-monodesyodasa no está inhibida.

Fíjate que los trastornos hormonales de este síndrome son muy parecidos a los del hipotiroidismo secundario, con una diferencia importante: la T3R que sólo está aumentada en este síndrome.

## **2.6.2 Hipotiroidismo**

El hipotiroidismo es un trastorno que resulta de la insuficiente actividad hormonal tiroidea que es necesaria para mantener las funciones metabólicas normales del



organismo. En esencia este trastorno puede ser producido por una afectación de la propia glándula tiroidea, que constituirá un hipotiroidismo primario, o por alteraciones en la producción o secreción de la tirotrópina hipofisaria denotado como TSH por causas a este nivel o en el hipotálamo, y que corresponderían al hipotiroidismo secundario o terciario, respectivamente. Hay otras condiciones más raras que pueden conducir a hipotiroidismo, como el síndrome de resistencia periférica a hormonas tiroideas, pero la mayoría de los pacientes con insuficiencia tiroidea tienen hipotiroidismo primario 1, 2 (Herrera, 2008).

En el estadio inicial del hipotiroidismo primario se produce una ligera disminución de la secreción de tiroxina<sup>4</sup> que induce un aumento de la TSH. Esta situación conlleva una mínima disminución de la tiroxina libre<sup>5</sup>, aun dentro de los límites de referencia, pero con aumento progresivo de la TSH, situación que se conoce como hipotiroidismo subclínico (Herrera, 2008).

Según Anton, Marcuello y Truchuelo (2008), el hipotiroidismo es la situación que resulta de la falta de los efectos de la hormona tiroidea sobre los tejidos del organismo.

Cuando el hipotiroidismo se manifiesta a partir del nacimiento y causa anomalía del desarrollo, se denomina cretinismo. El término mixedema se refiere a un hipotiroidismo grave con acumulación de mucopolisacáridos hidrófilos en la dermis, ocasionando un engrosamiento de los rasgos faciales y una induración pastosa de la piel, la cual queda pálida, fría y seca. Puede existir una coloración amarillenta en palmas y plantas, pelo escaso, áspero y sin brillo, uñas frágiles, equimosis, pérdida de la cola de las cejas (madarosis).

El mixedema generalizado es el cambio cutáneo más típico, debido al depósito de mucopolisacáridos en dermis. La piel aparece edematosa, seca, pálida y firme. Hay macroglosia, nariz ensanchada, párpados edematosos y la cara tiene falta de expresividad. Mejora con el tratamiento sustitutivo, a diferencia de los cambios cutáneos del hipertiroidismo por Graves.

---

<sup>4</sup> Disminución de la secreción de tiroxina denotado como T4

<sup>5</sup> Disminución de la tiroxina libre denotado como T4L,

### 2.6.2.1 Etiología.

Según American Thyroid Association (2014), existen muchas razones diferentes por las cuales las células de la glándula tiroidea no pueden producir suficiente hormona tiroidea. Aquí están las principales causas, desde la más común a la menos frecuente.

- **Enfermedad autoinmune**

En algunas personas, el sistema inmune que protege el cuerpo contra infecciones extrañas, puede confundir a las células tiroideas y sus enzimas con agentes invasores y atacarlas. En consecuencia no quedan suficientes células tiroideas y enzimas para producir cantidad adecuada de hormona tiroidea. Esto es más común en mujeres que en hombres.

La tiroiditis autoinmune puede comenzar repentinamente o se puede desarrollar lentamente en el curso de varios años. Las formas más comunes son la tiroiditis de Hashimoto y la tiroiditis atrófica.

- **Extracción por medio de la cirugía de una parte o la totalidad de la glándula tiroidea.**

Algunas personas con nódulos tiroideos, cáncer de tiroidea o enfermedad de Graves necesitan cirugía para eliminar una parte o la totalidad de la glándula tiroidea. Si se quita toda la glándula, la persona sin duda desarrollará hipotiroidismo. Si se deja intacta una parte de la tiroidea, ésta puede producir suficiente hormona tiroidea para mantener los niveles sanguíneos dentro del rango normal.

- **Tratamiento radiactivo**

Algunas personas con enfermedad de Graves, bocio nodular o cáncer de tiroidea son tratados con yodo radiactivo con el fin de destruir la glándula tiroidea. Pacientes con enfermedad de Hodgkin, linfoma o cánceres de la cabeza o el cuello son tratados con radiación. Todos estos pacientes pueden perder una parte o la totalidad de su función tiroidea.

- **Hipotiroidismo congénito, hipotiroidismo con el que el niño nace**

Algunos bebés nacen sin la glándula tiroides o con una glándula que esta sólo parcialmente formada. Otros pocos tienen una parte o toda la glándula tiroides en el lugar incorrecto<sup>6</sup>. En algunos bebés, las células tiroideas o sus enzimas no funcionan en forma normal.

- **Tiroiditis**

La tiroiditis es una inflamación de la glándula tiroides, generalmente causada por un ataque autoinmune o por una infección viral. La tiroiditis puede hacer que toda la hormona tiroidea que estaba almacenada, sea liberada repentinamente en la sangre, causando Hipertiroidismo de corta duración; luego la glándula se vuelve hipo activa.

- **Medicamentos**

Medicamentos como la amiodarona, el litio, el interferón alfa y la interleukina-2 pueden impedir que la glándula tiroides produzca hormona tiroidea en forma normal. Estas drogas pueden causar hipotiroidismo más frecuentemente en pacientes con una predisposición genética a desarrollar enfermedad tiroidea autoinmune.

- **Demasiado o muy poco yodo**

La glándula tiroides debe disponer de yodo para producir hormona tiroidea. El yodo entra al cuerpo con los alimentos y viaja a través de la sangre hasta la tiroides. Para mantener balanceada la producción de hormona tiroidea se necesita una cantidad de yodo adecuada. Ingerir demasiado yodo puede causar o agravar el hipotiroidismo.

GRUPO DE EDAD	mcg / DIA
Menores de 6 años	90

---

<sup>6</sup> Tiroides ectópica; sucede cuando una parte o toda la glándula tiroides se encuentra en el lugar incorrecto

De 6 a 12años	120
Adultos	150
Embarazo y lactancia	250

Tabla 2.6-1: Recomendaciones diarias ingesta de yodo (OMS)

Fuente: Luque, 2011.

- **Daño a la glándula pituitaria o hipófisis.**

La hipófisis, le dice a la tiroides cuánta hormona tiroidea debe producir. Cuando la pituitaria ha sido dañada por un tumor, radiación o cirugía, ya no podrá darle instrucciones a la tiroides, y en consecuencia, la glándula tiroides dejará de producir suficiente hormona.

- **Trastornos infiltrativos raros de la tiroides.**

En algunas personas, ciertas enfermedades causan un depósito de sustancias anormales en la tiroides. Por ejemplo, la amiloidosis puede depositar proteína amiloidea, la sarcoidosis puede depositar granulomas, y la hemocromatosis puede depositar hierro.

Según Anton, Marcuello y Truchuelo (2008), las causas tiroideas primarias constituyen el 95% de los casos y sólo un 5% o menos es de origen hipofisario o suprahipofisario. La causa más frecuente de hipotiroidismo es el déficit de yodo a nivel mundial, siendo en los países desarrollados el hipotiroidismo autoinmune. También es una causa importante el hipotiroidismo postablativo (radioyodo o cirugía). Otras causas menos frecuentes son la irradiación cervical externa, los bociógenos como el litio o la amiodarona, enfermedades infiltrativas, granulomatosas o metastásicas del tiroides, y las alteraciones congénitas de la síntesis de hormonas tiroideas y agenesia tiroidea.

Cuando el hipotiroidismo primario se asocia a anticuerpos circulantes, puede asociarse a otros procesos autoinmunes. En este caso, nunca se debe iniciar el tratamiento

con levotiroxina sin haber descartado previamente una insuficiencia suprarrenal. En el caso de que la sospecha clínica sea alta, se iniciará primero el tratamiento con corticoides y luego con levotiroxina, para impedir el desencadenamiento de una crisis suprarrenal.

### **2.6.2.2 Manifestaciones clínicas.**

Hipotiroidismo congénito. Existe hipotiroidismo en uno de cada 5000 niños recién nacidos. La causa más frecuente de hipotiroidismo congénito es la disgenesia tiroidea, que incluye a los tiroides aplásicos, hipoplásicos y ectópicos.

Es más frecuente en el sexo femenino, tratándose de RN en ocasiones de peso elevado para la edad gestacional sin ningún otro dato, pues la clínica del hipotiroidismo congénito es de instauración tardía, estando completamente establecida a los 3-6 meses de edad. Son datos altamente sugestivos el desarrollo de una facies peculiar (cara tosca con párpados y labios tumefactos, nariz corta con base deprimida, hipertelorismo, boca abierta y macroglosia) con estreñimiento, ictericia prolongada, letargia, hernia umbilical y un retraso en la maduración ósea. Otros datos de hipotiroidismo también pueden estar presentes.

Sin embargo, el diagnóstico clínico es hoy en día poco frecuente por el desarrollo de las pruebas de detección precoz, que en el caso de España se realizan determinando los valores de TSH en una muestra de sangre obtenida entre las 48 horas y los 5 días de vida en todo RN.

Interpretación de las Pruebas del Screening Neonatal.

- TSH < 10 mcUI/ml: compatible con la normalidad.
- TSH > 50 mcUI/ml: caso compatible con hipotiroidismo primario congénito; debe instaurarse de forma precoz tratamiento con levotiroxina sódica, con intención de mejorar el pronóstico neurológico de estos pacientes. A su vez, este caso podrá ser:
  - Permanente, como ocurrirá en la mayoría de los casos.
  - Transitorio.
- TSH 10-50 mcUI/ml: caso dudoso al que deberá de nuevo determinarse TSH en nueva muestra, de forma que si el segundo resultado es menor de 10 mcUI/ml, se

interprete como normal, pero si es  $> 10$  mcUI/ml, debe ser sometido a estudio y posiblemente tratamiento.

### **Cretinismo**

Más adelante, aparecen los rasgos físicos del cretinismo: talla baja, rasgos toscos y lengua prominente, nariz chata y de base ancha, separación de los ojos, escasez de vello, sequedad de piel, abdomen prominente, retraso en la edad ósea, alteración del desarrollo mental y retraso de la dentición.

En los niños mayores las manifestaciones son intermedias entre el hipotiroidismo infantil y el del adulto, predominando la talla baja y el retraso puberal.

En el adulto, los síntomas iniciales son poco específicos y de aparición progresiva. Aparece fatiga, letargia, estreñimiento, intolerancia al frío, rigidez y contractura muscular, síndrome del túnel carpiano y trastornos menstruales. Se produce un deterioro progresivo de la actividad intelectual y motora, como demencia y movimientos involuntarios anormal, pérdida de apetito y aumento de peso. La piel se vuelve seca y áspera, el vello se cae. La voz se hace más profunda y puede aparecer apnea del sueño.

### **Mixedema**

Si el cuadro evoluciona aparece anemia, palidez y frialdad de la piel, escasez de vello, edema periorbitario y macroglosia. El corazón puede aumentar de tamaño por dilatación y derrame pericárdico (incluso taponamiento). Puede existir íleo adinámico, megacolon y obstrucción intestinal.

### **Coma mixedematoso**

Si el paciente con un hipotiroidismo grave no se trata, puede desarrollar un cuadro grave con estupor e hipotermia, que puede ser mortal. La causa más frecuente del coma mixedematoso es la exposición al frío o la realización de una cirugía en un paciente con hipotiroidismo no tratado o incorrectamente tratado. También puede aparecer en un paciente hipotiroideo en tratamiento que suspende bruscamente la medicación. Debes pensar en ella, pero es una patología poco frecuente.

### 2.6.2.3 Diagnóstico.

La determinación más útil de forma aislada para el diagnóstico del hipotiroidismo es la determinación de TSH, que aumenta en el hipotiroidismo primario y está normal o indetectable en el hipotiroidismo hipofisario. Si se sospecha este último caso se debe solicitar T4L a la vez, ya que la TSH puede ser normal hasta en un 30% de los casos. También se mide la T4L cuando el screening con TSH aislada nos da un resultado elevado. Es característico el aumento del colesterol sérico (sólo en el hipotiroidismo primario), de CPK, LDH y GOT.

Existe anemia perniciosa aproximadamente en un 12%. En el ECG es característica la bradicardia, la disminución de amplitud de los complejos QRS y la inversión de la onda T. Las pruebas de captación de yodo radiactivo no son útiles en el diagnóstico del hipotiroidismo.

	HIPOTIROIDISMO PRIMARIO	HIPOTIROIDISMO CENTRAL
T4, T3	Disminuidos	Disminuidos
TSH	Aumentada	Normal o disminuida
Colesterol	Aumentado	Normal
Bocio	Si o No	No
Déficits hormonales asociados	No frecuentes	Si frecuentes (ACTH- cortisol)
Tratamientos	Levotiroxina	Levotiroxina (+ otras hormonas, si precisa)
Seguimiento de tratamiento	TSH	T4 libre

Tabla 2.6-2: Características diferenciales entre hipotiroidismo primario y central.

Fuente: Anton, Marcuello y Truchuelo, 2008.

### Hipotiroidismo subclínico

Se trata de una situación en la que la T4 libre y la T3 son normales, pero la TSH en suero está elevada. La actitud respecto a ella es variable y depende de la situación del

paciente (ver figura 1). En general, se recomienda tratarlo siempre, a menos que exista una enfermedad de base que contraindique el tratamiento con hormona tiroidea.

#### 2.6.2.4 Tratamiento

En el momento actual, se dispone de hormonas sintéticas para el tratamiento del hipotiroidismo: levotiroxina (L-T4) y liotironina (LT3).

El preparado más utilizado es la L-T4, por su potencia uniforme. En la mayoría de los casos, el tratamiento se debe instaurar de forma progresiva para evitar el desencadenamiento de ángor, sobre todo en los ancianos y en los pacientes cardiópatas. La dosis necesaria para mantener un estado eutiroides suele ser 1,7  $\mu\text{g}/\text{Kg}/\text{día}$  de LT4.

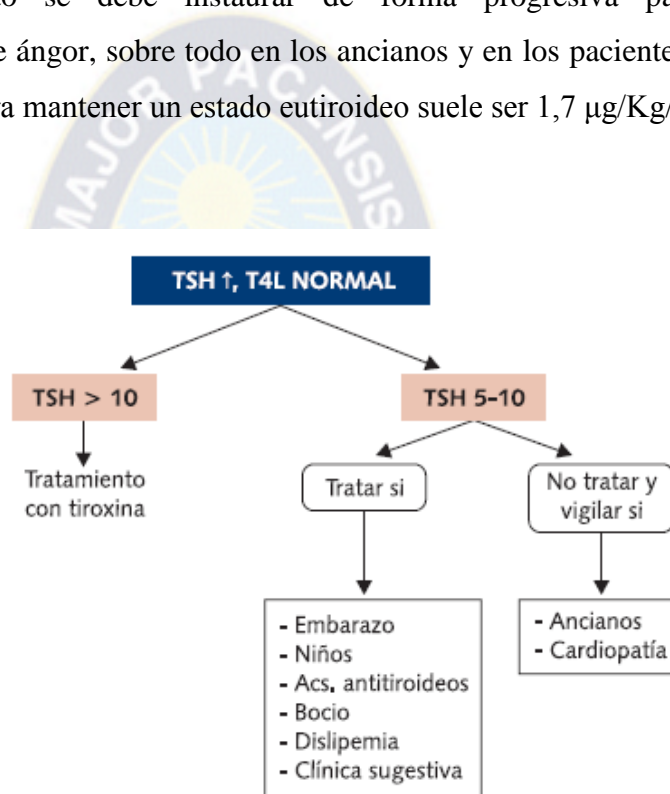


Figura 2.6.2: Actitud ante el hipotiroidismo subclínico.

Fuente: Anton, Marcuello y Truchuelo, 2008.

La dosis diaria inicial en el adulto suele ser de 50  $\mu\text{g}/\text{día}$ , a no ser que exista cardiopatía de base o en ancianos, en cuyo caso se comienza por 12,5-25  $\mu\text{g}$ . La dosis se aumenta de 12,5-50  $\mu\text{g}$  (según el caso) cada 4 semanas hasta obtener la dosis definitiva. La tiroxina se puede administrar una vez al día por su larga vida media, y es la determinación de TSH el parámetro más útil para el control del tratamiento del



hipotiroidismo primario (en el hipotiroidismo central el parámetro más útil es la T3 o T4 libres), siendo el objetivo su normalización.

En el caso del coma mixedematoso, el hipotiroidismo requiere un tratamiento inmediato. Está indicada en estos casos la utilización de L-T4 intravenosa, junto con la administración de hidrocortisona, para evitar que se desencadene una crisis suprarrenal. Si se sospecha un hipotiroidismo hipofisario o hipotalámico, no debe iniciarse el tratamiento sustitutivo hasta que se demuestre la normalidad del eje hipófiso-suprarrenal. Esto es importante porque el déficit aislado de TSH es mucho menos frecuente que una situación de hipopituitarismo, en la que hay déficit de varias hormonas como la ACTH y, por lo tanto, una insuficiencia suprarrenal secundaria que deberíamos tratar antes de iniciar L-T4.



## **CAPITULO 3**

### **MARCO DE APLICATIVO**

#### **3.1 Fase 1: identificación**

En esta primera etapa se identifica a los participantes para el funcionamiento del sistema experto.

- **Expertos del área**

El médico endocrinólogo da todo el conocimiento especializado debido a su experiencia para la elaboración del sistema experto.

- **Ingenieros del conocimiento**

El programador, la persona que obtiene la información a través de entrevistas con el medico endocrinólogo, artículos y otras fuentes de información, para la realización del sistema experto.

- **Futuros usuarios**

**Paciente**, es la persona que utilizara los beneficios del sistema experto para la detección del hipotiroidismo e hipertiroidismo.

**Médico**, es el endocrinólogo que coadyuvara su trabajo con el sistema experto.

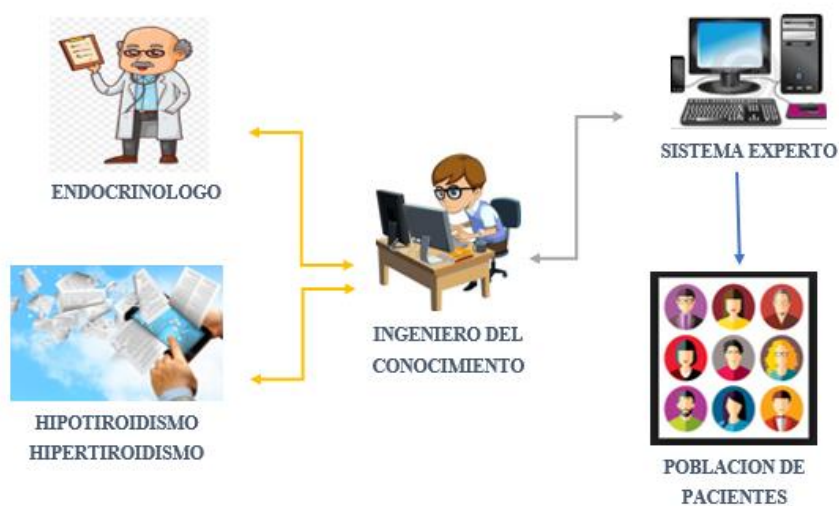


Figura 3.1.1: Participantes que intervienen en el Sistema Experto

La estructura propuesta es como el Sistema Experto esta implementado.

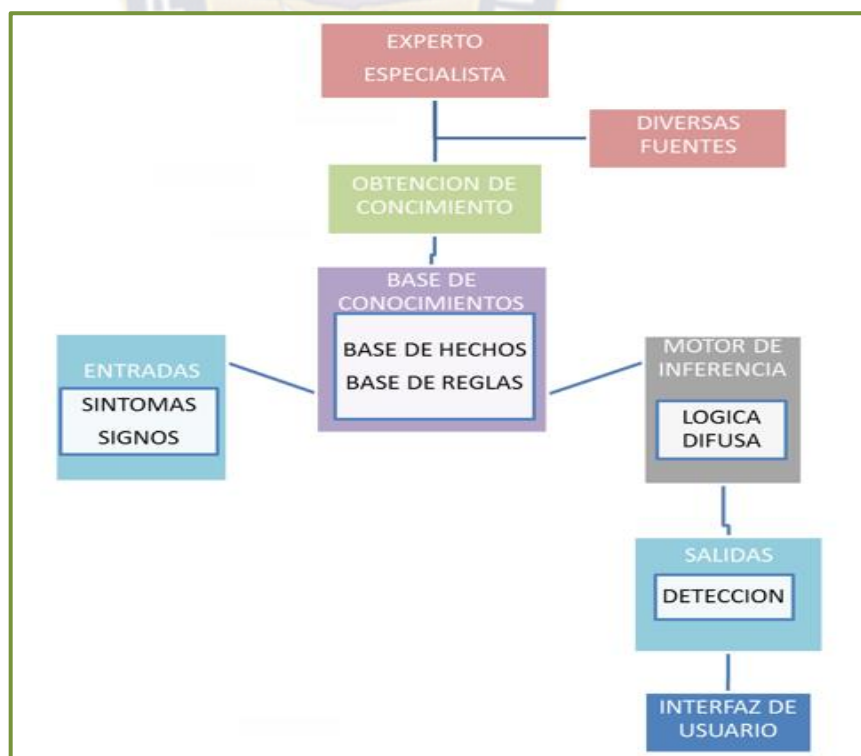


Figura 3.1.2: Componentes del Sistema Experto desde adquisición de conocimiento.

- a) **Entradas:** Los síntomas y signos que la persona podría estar presentando a causa del hipotiroidismo o hipertiroidismo.
- b) **Base de conocimiento:** El conocimiento y la información obtenida en previas investigaciones, también las reglas y/o hechos que se utilizan en el proceso de detección.
- c) **Motor de inferencia:** Se usan las reglas de inferencia que son representadas a través de lógica difusa.
- d) **Salidas:** En función a los datos ingresados en la entrada, la base de conocimiento y el motor de inferencia, se obtiene las posibles detecciones.
- e) **Interfaz de usuario:** Facilita la comunicación entre el usuario y el Sistema Experto.

## 3.2 Fase 2: Conceptualización

En este proceso se recolecta información a partir de entrevistas con el experto y se extrae información de libros, artículos, para poder tener toda la fuente necesaria para construir el sistema experto, también se delimita el alcance del sistema experto, es decir, que definimos que problemas se va a resolver concretamente.

La información extraída de Luque, donde habla sobre las causas, síntomas y síntomas, del hipotiroidismo e hipertiroidismo, el cual es complemento en la base de conocimientos del sistema experto.

### 3.2.1 Extracción de conocimiento

La evaluación del médico endocrinólogo para la detección de la tiroides y posterior detección del hipotiroidismo e hipertiroidismo.

Habitualmente, al concurrir el paciente al consultorio, se le realiza la historia clínica, haciendo énfasis en las manifestaciones clínicas y el examen físico, que debe incluir la palpación tiroidea.

Luego, se pedirá:

- Análisis de sangre.
- Ecografía de tiroides.

- Tomografía de tiroides.
- Centello grama.
- Punción de nódulos tiroideos.

Al realizar la historia médica se toman en cuenta los siguientes, síntomas, signos, causas.

## A. Hipotiroidismo

En el adulto

- Fatiga
- Letargia
- Estreñimiento
- Intolerancia al frío,
- Rigidez
- Contractura muscular
- Síndrome del túnel carpiano
- Trastornos menstruales
- Demencia
- Movimientos involuntarios anormales
- Pérdida de apetito
- Aumento de peso
- Piel seca y áspera
- El vello se cae
- La voz se hace más profunda
- Aparece apnea del sueño

Mixedema

- Anemia, palidez y frialdad de la piel,
- Escasez de vello
- Edema periorbitario

- Macroglosia
- Corazón puede aumentar de tamaño por dilatación
- Derrame pericárdico (incluso taponamiento)
- Íleo adinámico
- Megacolon
- Obstrucción intestinal.

Coma mixedematoso

- Estupor e hipotermia mortal

Antecedentes familiares: es más probable que una persona lo padezca si su madre, padre o hermanos padecen alguna enfermedad tiroidea autoinmune

Tener otra enfermedad como diabetes mellitus tipo 1, artritis reumatoide, esclerosis múltiple, enfermedad celíaca, enfermedad de Addison, anemia perniciosa, vitíligo, síndrome de Down, síndrome de Turner o enfermedad bipolar.

El riesgo va aumentando a mayor edad.

Es más frecuente en mujeres que en hombres.

El índice de hipotiroidismo aumenta durante el embarazo, después del parto y en la pre- menopausia.

El hipotiroidismo es más común en blancos y asiáticos, los afroamericanos tienen menor riesgo.

Cuando la causa es la deficiencia de yodo en la dieta, los suplementos de yodo pueden prevenir el hipotiroidismo.

La cantidad de coles, nabo, mandioca, brócolis o brotes que se ingiere en una dieta normal no causan hipotiroidismo, pero pueden contribuir al desarrollo de bocio si se suman a otros factores de riesgo, como la deficiencia de yodo, el tabaquismo y la autoinmunidad tiroidea.

El tabaco tiene sustancias llamadas tiocianatos que producen bocio y también afectan al sistema inmunológico.

## **B. Hipertiroidismo**

- Nerviosismo
- Debilidad
- Labilidad emocional
- Disminución del rendimiento
- Sudoración excesiva e intolerancia al calor
- Tránsito intestinal aumentado no es frecuente la diarrea, sí existe un incremento en el número de deposiciones
- Apetito incrementado
- El exceso de hormonas tiroideas causa taquicardia sinusal
- Fibrilación auricular
- Taquicardia supra ventricular paroxística
- Extrasístoles ventriculares

La enfermedad de Graves: es la causa más frecuente y en ella el tiroides está aumentado de tamaño (bocio tóxico difuso)

Nódulos tiroideos: si es un único nódulo se conoce como adenoma tóxico, y si son muchos como bocio multinodular tóxico.

Tiroiditis: es una inflamación de la glándula que puede producirse después de un embarazo o enfermedad vírica y en muchos casos se inflama por razones desconocidas.

Yodo: El tiroides utiliza yodo para fabricar estas hormonas, por lo que un exceso de yodo unido a un tiroides aumentado de tamaño, puede producir hipertiroidismo.

### **3.3 Fase 3: formalización**

Contiene el conocimiento del dominio conveniente formalizado y estructurado, para el hipotiroidismo e hipertiroidismo.

### 3.3.1 Base de conocimiento

En la base de conocimientos se tomaron en cuenta, el conocimiento abstracto y el conocimiento concreto. Cuenta con un dominio que será de personas mayores a 30 años.

El sistema experto tiene los síntomas y signos que cada paciente con estas enfermedades presentes

Se realizaron preguntas cuyas respuestas de selección. A continuación se muestra la Tabla 3.3-1 Tabla 3.3-3 de variables lingüísticas.

Se realizaron preguntas cuyas respuestas son cerradas entre SI o NO. A continuación se muestra la Tabla 3.3-2 Tabla 3.3-4 de variables lingüísticas.

Tabla 3.3-1: Valores iniciales del Hipotiroidismo

Nro.	Cód.	Característica	Valor
1	Edad	Edad	>30
2	Sex	Sexo	Hombre o Mujer
3	Peso	Peso adquirido en el último año	5 a 20 kg.
4	Yodo	Sal consumida por día	< 150 mcg.

Fuente: Luque, 2011.

Tabla 3.3-2: Síntomas y signos característicos del Hipotiroidismo

Nro.	Cód.	Variable Lingüística	Valor Lingüístico
1	HIP1	Frecuentemente se siente cansado	SI, NO
2	HIP2	Sufre de pérdida de apetito	SI, NO
3	HIP3	Es intolerante al frío	SI, NO
4	HIP4	Frecuentemente presenta mucho sueño	SI, NO
5	HIP5	Presenta dificultad para la concentración en sus actividades	SI, NO
6	HIP6	Subió de peso	SI, NO
7	HIP7	Tiene problemas estomacales (estreñimiento)	SI, NO



8	HIP8	Tiene problemas depresivos	SI, NO
9	HIP9	Usted frecuentemente presenta pérdida de memoria	SI, NO
10	HIP10	Presenta debilidad al momento de realizar sus actividades	SI, NO
11	HIP11	Presenta apatía	SI, NO
12	HIP12	Presenta fatiga constante	SI, NO
13	HIP13	Presenta letargia	SI, NO
14	HIP14	Presenta voz ronca o aguda persistente	SI, NO
15	HIP15	Presenta caída de cabello persistente	SI, NO
16	HIP16	Perdió la cola de las cejas	SI, NO
17	HIP17	Tiene la lengua gruesa o grande	SI, NO
18	HIP18	Tiene edemas en el cuerpo	SI, NO
19	HIP19	Presenta uñas quebradizas	SI, NO
20	HIP20	Tiene el cabello enmarañado y sin brillo	SI, NO
21	HIP21	Puede ver que su piel presenta engrosamiento de color amarillo, seco, frío, pálido y consistencia pastosa (escamosa), mayormente en la parte de atrás de las piernas y brazos.	SI, NO
22	HIP22	Presenta edemas en la cara	SI, NO
23	HIP23	Presenta artralgias	SI, NO
24	HIP24	Presenta disnea	SI, NO
25	HIP25	Presenta derrame pleural	SI, NO
26	HIP26	Presenta labios gruesos	SI, NO
27	HIP27	Presenta parpados hinchados	SI, NO
28	HIP28	Presenta antecedentes, si el padre o madre presentaban hipotiroidismo, y si es así, presenta estatura baja	SI, NO
29	HIP29	Fuma constantemente	SI, NO
30	HIP30	Color de piel	BLANCO, NEGRO

31	HIP31	Tiene hijos	SI, NO
32	HIP32	Padece de diabetes mellitus tipo 1, artritis reumatoide, esclerosis múltiple, enf. celíaca, enf. de Addison, anemia perniciosa, vitíligo, síndrome de Down, síndrome de Turner o enfermedad bipolar.	SI, NO

Fuente: Luque, 2011.

Tabla 3.3-3: Valores iniciales del Hipertiroidismo

Nro.	Cód.	Características	Valor
1	Edad	Edad	>30
2	Sex	Sexo	Hombre o Mujer
3	Peso	Peso perdido en el último año	5 a 20 kg.
4	Yodo	Sal consumida por día	>150 gris.

Fuente: Luque, 2011.

Tabla 3.3-4: Síntomas y signos característicos del Hipertiroidismo

Nro.	Cód.	Variable Lingüística	Valor Lingüístico
1	HIPE1	Frecuentemente está nervioso y agitado.	SI, NO
2	HIPE2	Frecuentemente presenta temblores	SI, NO
3	HIPE3	Es intolerante al calor	SI, NO
4	HIPE4	Perdió peso a pesar de comer mucho	SI, NO
5	HIPE5	Presenta problemas estomacales (diarrea).	SI, NO
6	HIPE6	Presenta alteraciones menstruales	SI, NO
7	HIPE7	Es una persona muy hiperactiva	SI, NO
8	HIPE8	Presenta problemas con su concentración	SI, NO
9	HIPE9	Presenta bocio en el cuello, de característica blanda y cálida	SI, NO

10	HIPE10	Presenta piel caliente y húmeda	SI, NO
11	HIPE11	Frecuentemente presenta sudor	SI, NO
12	HIPE12	Presenta cabello fino y cae con facilidad	SI, NO
13	HIPE13	Presenta debilidad y cansancio en sus músculos al realizar sus actividades	SI, NO
14	HIPE14	Presenta dedos en palillos de tambor	SI, NO
15	HIPE15	Presenta ojos grandes con mirada fija, con dilatación de la abertura palpebral	SI, NO
16	HIPE16	Tiene bastante apetito	SI, NO
17	HIPE17	Después de un embarazo tuvo alguna inflamación de sus glándulas (en la sección del cuello)	SI, NO

Fuente: Luque, 2011.

## **i. Árbol de decisión**

### **a. Hipotiroidismo**

En este árbol binario se verá la gravedad del hipotiroidismo según Luque, como se observa en la Figura 3.3.1 los que están en la parte superior si cumplen esos síntomas tendrá Hipotiroidismo leve, pero si cumplen los síntomas del medio con los de la parte superior puede tener Hipotiroidismo moderado y finalmente si cumple los síntomas de la parte media o todos entonces tiene Hipotiroidismo grave.

### **a. Hipertiroidismo**

En este árbol binario se verá la gravedad del hipertiroidismo según Luque, como se observa en la Figura 3.3.2 los que están en la parte superior si cumplen esos síntomas tendrá Hipertiroidismo leve, pero si cumplen los síntomas del medio con los de la parte superior puede tener Hipertiroidismo moderado y finalmente si cumple los síntomas de la parte media o todos entonces tiene Hipertiroidismo grave.

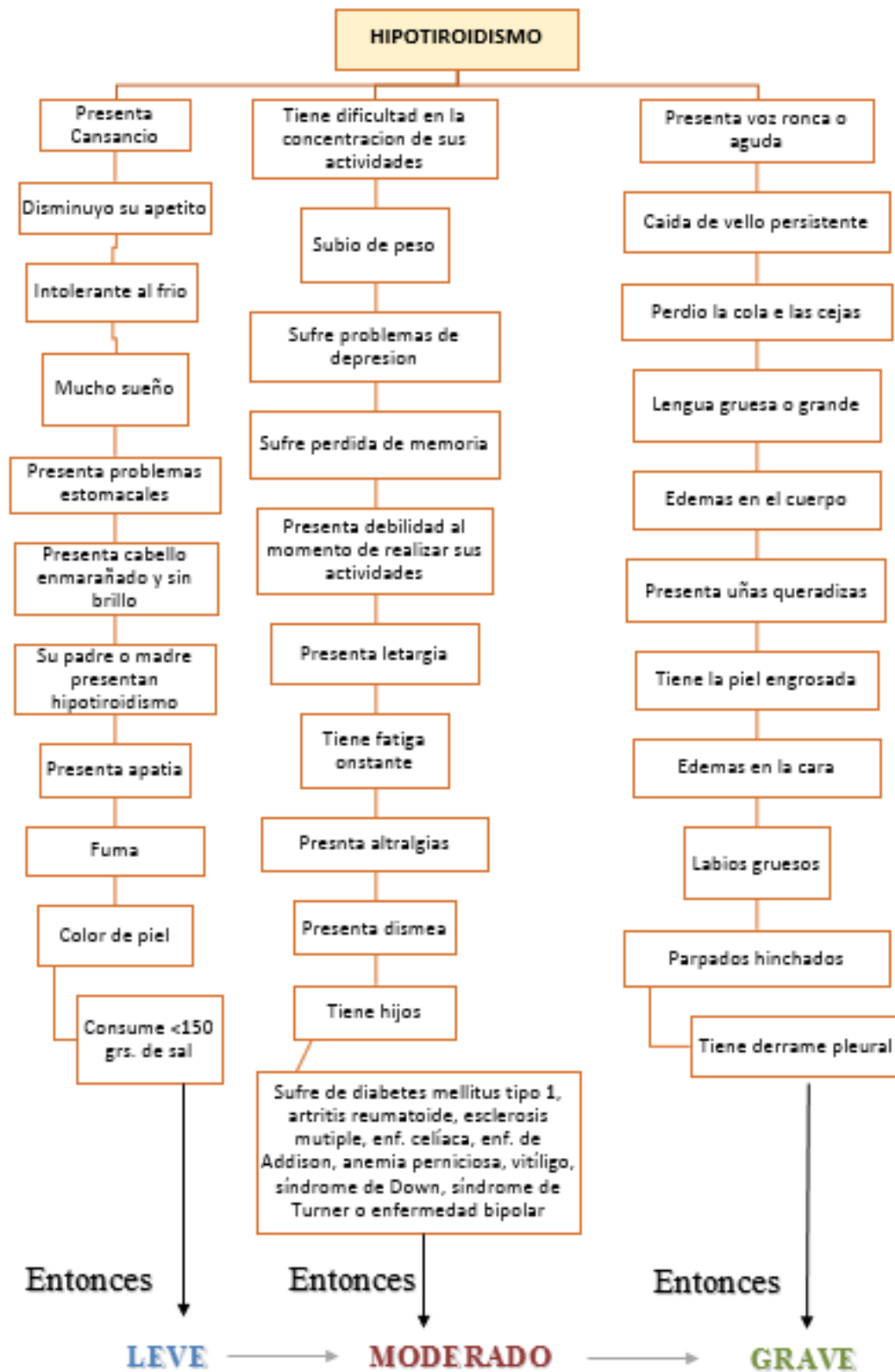


Figura 3.3.1: Árbol de decisión del Hipotiroidismo

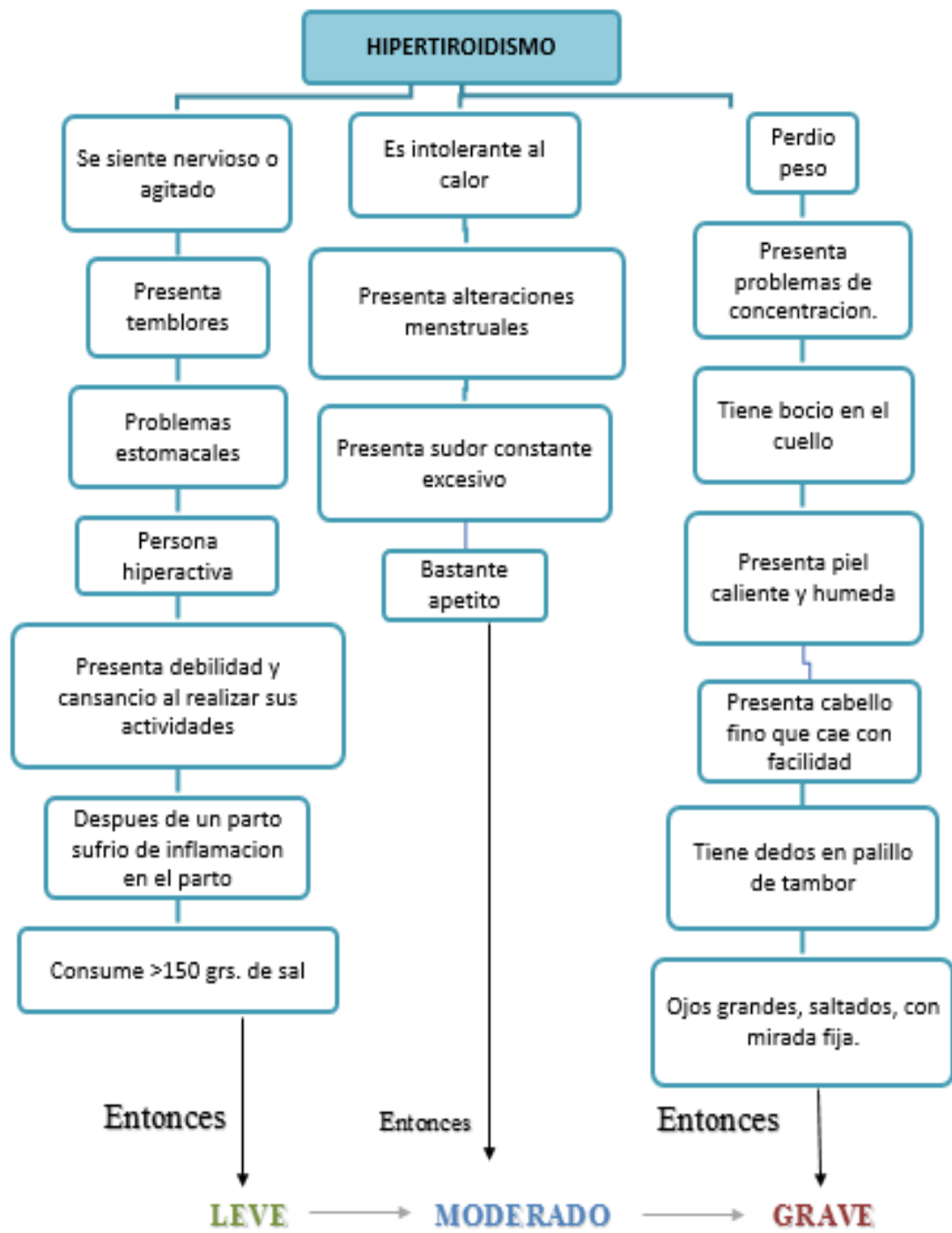


Figura 3.3.2: Árbol de decisión del Hipertiroidismo

### 3.3.2 Motor de inferencia

#### 3.3.2.1 Fuzzificación de variables lingüísticas

Se debe tomar en cuenta que estas enfermedades tienen niveles de gravedad, por lo cual lo clasificaremos en función de pertenencias con distintos tipo de grados, leve, moderado o grave. Por consiguiente para controlar el nivel de gravedad se tendrá ponderaciones para cada nivel.

Formalizamos las variables lingüísticas con el uso de la lógica difusa. En tres conjuntos difusos para cada enfermedad:

Figura 3.3.3: Grado de pertenencia para Hipotiroidismo

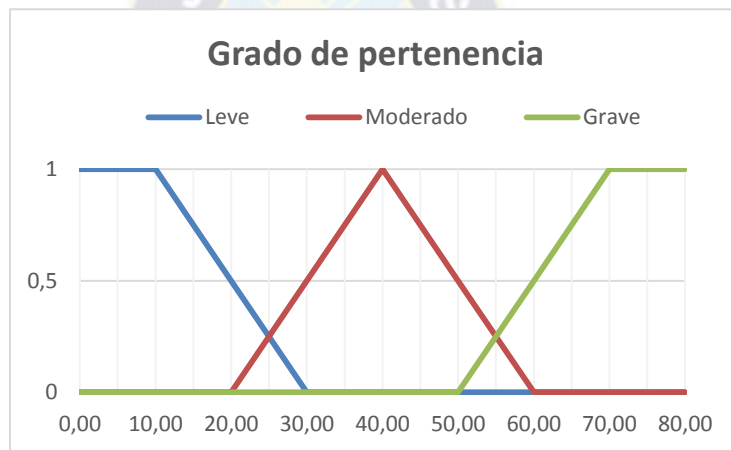


Tabla 3.3-5: Función de pertenencia nivel de gravedad del Hipotiroidismo.

FUNCION DE PERTENENCIA		
Leve (x)	1	$x < 10$
	$\frac{30 - x}{30 - 10}$	$10 < x < 30$
	0	$x > 30$
Moderado (x)	1	$x = 40$
	$\frac{x - 20}{40 - 20}$	$20 < x < 40$
	$\frac{60 - x}{60 - 40}$	$40 < x < 60$
	0	$x < 20 \text{ ó } x > 60$

Grave (x)	1	$x > 50$
	$\frac{70 - x}{70 - 50}$	$50 < x < 70$
	0	$x < 50$

Figura 3.3.4: Grado de pertenencia para Hipertiroidismo

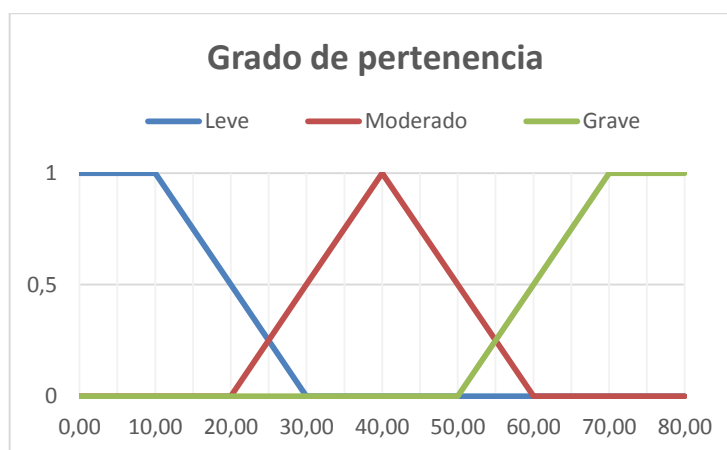


Tabla 3.3-6: Función de pertenencia nivel de gravedad del Hipertiroidismo.

FUNCION DE PERTENENCIA		
Leve (x)	1	$x < 10$
	$\frac{30 - x}{30 - 10}$	$10 < x < 30$
	0	$x > 30$
Moderado (x)	1	$x = 40$
	$\frac{x - 20}{40 - 20}$	$20 < x < 40$
	$\frac{60 - x}{60 - 40}$	$40 < x < 60$
	0	$x < 20 \text{ ó } x > 60$
Grave (x)	1	$x < 50$

	$\frac{70 - x}{70 - 50}$	$50 < x < 70$
	0	$x > 70$

### 3.3.2.2 Base de hechos

La base de hechos dispone de los datos propios de cada enfermedad, y este alberga los datos propios correspondientes a los problemas que se desea tratar con la ayuda del modelo.

Está constituida por el conocimiento concreto, el cual está constituido por los síntomas y signos que la persona con hipotiroidismo o hipertiroidismo presenta.

Se puede identificar los siguientes hechos:

#### A. Hipotiroidismo

Hecho 1: Frecuentemente se siente cansado

Hecho 2: De acá a un tiempo ha disminuido su apetito

Hecho 3: Es intolerante al frío

Hecho 4: Frecuentemente presenta mucho sueño

Hecho 5: Presenta dificultad para la concentración en sus actividades

Hecho 6: Subió de peso

Hecho 7: Tiene problemas estomacales (estreñimiento)

Hecho 8: Tiene problemas depresivos

Hecho 9: Usted frecuentemente presenta pérdida de memoria

Hecho 10: Presenta debilidad al momento de realizar sus actividades

Hecho 11: Presenta apatía

Hecho 12: Presenta fatiga constante

Hecho 13: Presenta letargia

Hecho 14: Presenta voz ronca o aguda persistente

Hecho 15: Presenta caída de cabello persistente

Hecho 16: Perdió la cola de las cejas

Hecho 17: Tiene la lengua gruesa o grande

Hecho 18: Tiene edemas en el cuerpo



Hecho 19: Presenta uñas quebradizas

Hecho 20: Tiene el cabello enmarañado y sin brillo, que cae con facilidad

Hecho 21: Puede ver que su piel presenta engrosamiento de color amarillo, seco, frío, pálido y consistencia pastosa (escamosa), mayormente en la parte de atrás de las piernas y brazos.

Hecho 22: Presenta edemas en la cara

Hecho 23: Presenta artralgias

Hecho 24: Presenta disnea

Hecho 25: Presenta derrame pleural

Hecho 26: Presenta labios gruesos

Hecho 27: Presenta párpados hinchados

Hecho 28: Presenta antecedentes, si el padre o madre presentaban hipotiroidismo, y si es así, presenta estatura baja

Hecho 29: Fuma constantemente

Hecho 30: Que color de piel presenta.

Hecho 31: Tiene hijos.

Hecho 32: Presenta alguna de estas enfermedades: Diabetes mellitus tipo 1, artritis reumatoide, esclerosis múltiple, enf. celíaca, enf. de Addison, anemia perniciosa, vitíligo, síndrome de Down, síndrome de Turner o enfermedad bipolar

## **B. Hipertiroidismo**

Hecho 1: Frecuentemente está nervioso y agitado.

Hecho 2: Frecuentemente presenta temblores

Hecho 3: Es intolerante al calor

Hecho 4: Perdió peso a pesar de comer mucho

Hecho 5: Presenta problemas estomacales (diarrea).

Hecho 6: Presenta alteraciones menstruales

Hecho 7: Es una persona muy hiperactiva

Hecho 8: Presenta problemas con su concentración

Hecho 9: Presenta bocio en el cuello, de característica blanda y cálida

Hecho 10: Presenta piel caliente y húmeda

Hecho 11: Frecuentemente presenta sudor excesivo.

Hecho 12: Presenta cabello fino y cae con facilidad

Hecho 13: Presenta debilidad y cansancio en sus músculos al realizar sus actividades

Hecho 14: Presenta dedos en palillos de tambor

Hecho 15: Presenta ojos grandes con mirada fija, con dilatación de la abertura palpebral.

Hecho 16: Presenta bastante apetito.

Hecho 17: Después de algún embarazo tuvo alguna inflamación de sus glándulas, en la sección del cuello.

### **3.3.2.3 Base de reglas**

Para poder incluir todo el conocimiento obtenido, en la base de conocimiento hacemos uso de las reglas. A partir de las reglas realizamos su encadenamiento relacionando dos o más premisas que interfieran y puedan presentar las conclusiones, en nuestro caso las premisas son los síntomas que presenta el paciente y las conclusiones hacen referencia al diagnóstico sobre el hipotiroidismo e hipertiroidismo

La base de reglas es la forma más extendida de representar el conocimiento, su forma de representación es la siguiente:

SI premisa ENTONCES conclusión

El motor de inferencia; cuya función es la de obtener conclusiones y la lógica difusa que en nuestro caso nos permite describir de mejor manera el rango de probabilidad que se le debe asignar a la base de conocimiento para solucionar problemas. A continuación se muestra el formato de las reglas que pueden ser modificadas o adicionadas según la experiencia del experto.

### **Desarrollo de Reglas:**

Una vez obtenida toda la información de las distintas fuentes y expertos, la transformamos en Reglas. A continuación mostraremos algunas de las reglas que vamos a utilizar para obtener conclusiones.

## ❖ Hipotiroidismo

**R1.-** Si edad > "30" And Si sex ="MUJER" And Si peso = "5 a 20" And Si yodo > '170' And Si HIP1 = "NO" And Si HIP2 = "NO" And Si HIP3 = "NO" And Si HIP4 = "NO" And Si HIP5 = "NO" And Si HIP6 = "NO" And Si HIP7 = "NO" And Si HIP8 = "NO" And Si HIP9 = "NO" And Si HIP10 = "NO" And Si HIP11 = "NO" And Si HIP12 = "NO" And Si HIP13 = "NO" And Si HIP14 = "NO" And Si HIP15 = "NO" And Si HIP16 = "NO" And Si HIP17 = "NO" And Si HIP18 = "NO" And Si HIP19 = "NO" And Si HIP20 = "NO" And Si HIP21 = "NO" And Si HIP22 = "NO" And Si HIP23 = "NO" And Si HIP24 = "NO" And Si HIP25 = "NO" And Si HIP26 = "NO" And Si HIP27 = "NO" And Si HIP28 = "NO" And Si HIP29 = "SI" And Si HIP30 = "BLANCO" And Si HIP31 = "NO" And Si HIP32 = "NO" **ENTONCES** "No existe probabilidad que la persona padece de Hipotiroidismo"

**R2.-** Si edad > "30" And Si sex ="MUJER" And Si peso = "5 a 20" And Si yodo > '170' And Si HIP1 = "SI" And Si HIP2 = "SI" And Si HIP3 = "SI" And Si HIP4 = "SI" And Si HIP5 = "NO" And Si HIP6 = "NO" And Si HIP7 = "SI" And Si HIP8 = "NO" And Si HIP9 = "NO" And Si HIP10 = "NO" And Si HIP11 = "SI" And Si HIP12 = "NO" And Si HIP13 = "NO" And Si HIP14 = "NO" And Si HIP15 = "NO" And Si HIP16 = "NO" And Si HIP17 = "NO" And Si HIP18 = "NO" And Si HIP19 = "NO" And Si HIP20 = "SI" And Si HIP21 = "NO" And Si HIP22 = "NO" And Si HIP23 = "NO" And Si HIP24 = "NO" And Si HIP25 = "NO" And Si HIP26 = "NO" And Si HIP27 = "NO" And Si HIP28 = "SI" And Si HIP29 = "SI" And Si HIP30 = "BLANCO" And Si HIP31 = "NO" And Si HIP32 = "NO" **ENTONCES** "Existe una alta probabilidad que la persona padece de Hipotiroidismo en **nivel: LEVE**"

**R3.-** Si edad > "30" And Si sex ="HOMBRE" And Si peso = "5 a 20" And Si yodo > '170' And Si HIP1 = "SI" And Si HIP2 = "SI" And Si HIP3 = "SI" And Si HIP4 = "SI" And Si HIP5 = "NO" And Si HIP6 = "NO" And Si HIP7 = "SI" And Si HIP8 = "NO" And Si HIP9 = "NO" And Si HIP10 = "NO" And Si HIP11 = "SI" And Si HIP12 = "NO" And Si HIP13 = "NO" And Si HIP14 = "NO" And Si HIP15 = "NO" And Si HIP16 = "NO" And Si HIP17 = "NO" And Si HIP18 = "NO" And Si HIP19 = "NO"

And Si HIP20 = "SI" And Si HIP21 = "NO" And Si HIP22 = "NO" And Si HIP23 = "NO" And Si HIP24 = "NO" And Si HIP25 = "NO" And Si HIP26 = "NO" And Si HIP27 = "NO" And Si HIP28 = "SI" And Si HIP29 = "SI" And Si HIP30 = "BLANCO" And Si HIP31 = "NO" And Si HIP32 = "NO" **ENTONCES** "Existe una baja probabilidad que la persona padece de Hipotiroidismo en **nivel: LEVE**"

**R4.-** Si edad > "30" And Si sex ="MUJER" And Si peso = "5 a 20" And Si yodo > '170' And Si HIP1 = "SI" And Si HIP2 = "SI" And Si HIP3 = "SI" And Si HIP4 = "SI" And Si HIP5 = "SI" And Si HIP6 = "SI" And Si HIP7 = "SI" And Si HIP8 = "SI" And Si HIP9 = "SI" And Si HIP10 = "SI" And Si HIP11 = "SI" And Si HIP12 = "SI" And Si HIP13 = "SI" And Si HIP14 = "NO" And Si HIP15 = "NO" And Si HIP16 = "NO" And Si HIP17 = "NO" And Si HIP18 = "NO" And Si HIP19 = "NO" And Si HIP20 = "SI" And Si HIP21 = "NO" And Si HIP22 = "NO" And Si HIP23 = "SI" And Si HIP24 = "SI" And Si HIP25 = "NO" And Si HIP26 = "NO" And Si HIP27 = "NO" And Si HIP28 = "SI" And Si HIP29 = "SI" And Si HIP30 = "BLANCO" And Si HIP31 = "SI" And Si HIP32 = "SI" **ENTONCES** "Existe una alta probabilidad que la persona padece de Hipotiroidismo en **nivel: MODERADO**"

**R5.-** Si edad > "30" And Si sex ="HOMBRE" And Si peso = "5 a 20" And Si yodo > '170' And Si HIP1 = "SI" And Si HIP2 = "SI" And Si HIP3 = "SI" And Si HIP4 = "SI" And Si HIP5 = "SI" And Si HIP6 = "SI" And Si HIP7 = "SI" And Si HIP8 = "SI" And Si HIP9 = "SI" And Si HIP10 = "SI" And Si HIP11 = "SI" And Si HIP12 = "SI" And Si HIP13 = "SI" And Si HIP14 = "NO" And Si HIP15 = "NO" And Si HIP16 = "NO" And Si HIP17 = "NO" And Si HIP18 = "NO" And Si HIP19 = "NO" And Si HIP20 = "SI" And Si HIP21 = "NO" And Si HIP22 = "NO" And Si HIP23 = "SI" And Si HIP24 = "SI" And Si HIP25 = "NO" And Si HIP26 = "NO" And Si HIP27 = "NO" And Si HIP28 = "SI" And Si HIP29 = "SI" And Si HIP30 = "BLANCO" And Si HIP31 = "NO" And Si HIP32 = "SI" **ENTONCES** "Existe una probabilidad que la persona padece de Hipotiroidismo en **nivel: MODERADO**"

**R6.-** Si edad > "30" And Si sex ="MUJER" And Si peso = "5 a 20" And Si yodo > '170' And Si HIP1 = "SI" And Si HIP2 = "SI" And Si HIP3 = "SI" And Si HIP4 = "SI" And Si HIP5 = "SI" And Si HIP6 = "SI" And Si HIP7 = "SI" And Si HIP8 = "SI"

And Si HIP9 = "SI" And Si HIP10 = "SI" And Si HIP11 = "SI" And Si HIP12 = "SI"  
 And Si HIP13 = "SI" And Si HIP14 = "SI" And Si HIP15 = "SI" And Si HIP16 = "SI"  
 And Si HIP17 = "SI" And Si HIP18 = "SI" And Si HIP19 = "SI" And Si HIP20 = "SI"  
 And Si HIP21 = "SI" And Si HIP22 = "SI" And Si HIP23 = "SI" And Si HIP24 = "SI"  
 And Si HIP25 = "SI" And Si HIP26 = "SI" And Si HIP27 = "NO" And Si HIP28 =  
 "SI" And Si HIP29 = "SI" And Si HIP30 = "BLANCO" And Si HIP31 = "SI" And Si  
 HIP32 = "SI" **ENTONCES** "Existe una alta probabilidad que la persona padece de  
 Hipotiroidismo en nivel: **GRAVE**"

**R7.-** Si edad > "30" And Si sex ="HOMBRE" And Si peso = "5 a 20" And Si  
 yodo > '170' And Si HIP1 = "SI" And Si HIP2 = "SI" And Si HIP3 = "SI" And Si HIP4  
 = "SI" And Si HIP5 = "SI" And Si HIP6 = "SI" And Si HIP7 = "SI" And Si HIP8 = "SI"  
 And Si HIP9 = "SI" And Si HIP10 = "SI" And Si HIP11 = "SI" And Si HIP12 = "SI"  
 And Si HIP13 = "SI" And Si HIP14 = "SI" And Si HIP15 = "SI" And Si HIP16 = "SI"  
 And Si HIP17 = "SI" And Si HIP18 = "SI" And Si HIP19 = "SI" And Si HIP20 = "SI"  
 And Si HIP21 = "SI" And Si HIP22 = "SI" And Si HIP23 = "SI" And Si HIP24 = "SI"  
 And Si HIP25 = "SI" And Si HIP26 = "SI" And Si HIP27 = "NO" And Si HIP28 =  
 "SI" And Si HIP29 = "SI" And Si HIP30 = "BLANCO" And Si HIP31 = "SI" And Si  
 HIP32 = "SI" **ENTONCES** "Existe una probabilidad que la persona padece de  
 Hipotiroidismo en nivel: **GRAVE**"

### ❖ **Hipertiroidismo**

**R1.-** Si edad > "30" And Si sex ="MUJER" And Si peso = "5 a 20" And Si yodo  
 < '170' And Si HIPE1 = "NO" And Si HIPE2 = "NO" And Si HIPE3 = "NO" And Si  
 HIPE4 = "NO" And Si HIPE5 = "NO" And Si HIPE6 = "NO" And Si HIPE7 = "NO"  
 And Si HIPE8 = "NO" And Si HIPE9 = "NO" And Si HIPE10 = "NO" And Si HIPE11  
 = "NO" And Si HIPE12 = "NO" And Si HIPE13 = "NO" And Si HIPE14 = "NO" And  
 Si HIPE15 = "NO" And Si HIPE16 = "NO" And Si HIPE17 = "NO" **ENTONCES**  
 "No existe probabilidad que la persona padece de Hipertiroidismo"

**R2.-** Si edad > "30" And Si sex ="MUJER" And Si peso = "5 a 20" And Si yodo  
 < '170' And Si HIPE1 = "SI" And Si HIPE2 = "SI" And Si HIPE3 = "NO" And Si HIPE4

= "NO" And Si HIPE5 = "SI" And Si HIPE6 = "NO" And Si HIPE7 = "SI" And Si HIPE8 = "NO" And Si HIPE9 = "NO" And Si HIPE10 = "NO" And Si HIPE11 = "NO" And Si HIPE12 = "NO" And Si HIPE13 = "SI" And Si HIPE14 = "NO" And Si HIPE15 = "NO" And Si HIPE16 = "NO" And Si HIPE17 = "SI" **ENTONCES** "Existe una alta probabilidad que la persona padece de Hipertiroidismo en **nivel: LEVE**"

**R3.-** Si edad > "30" And Si sex ="HOMBRE" And Si peso = "5 a 20" And Si yodo < '170' And Si HIPE1 = "SI" And Si HIPE2 = "SI" And Si HIPE3 = "NO" And Si HIPE4 = "NO" And Si HIPE5 = "SI" And Si HIPE6 = "NO" And Si HIPE7 = "SI" And Si HIPE8 = "NO" And Si HIPE9 = "NO" And Si HIPE10 = "NO" And Si HIPE11 = "NO" And Si HIPE12 = "NO" And Si HIPE13 = "SI" And Si HIPE14 = "NO" And Si HIPE15 = "NO" And Si HIPE16 = "NO" And Si HIPE17 = "NO" **ENTONCES** "Existe una probabilidad que la persona padece de Hipertiroidismo en **nivel: LEVE**"

**R4.-** Si edad > "30" And Si sex ="MUJER" And Si peso = "5 a 20" And Si yodo < '170' And Si HIPE1 = "SI" And Si HIPE2 = "SI" And Si HIPE3 = "SI" And Si HIPE4 = "NO" And Si HIPE5 = "SI" And Si HIPE6 = "SI" And Si HIPE7 = "SI" And Si HIPE8 = "NO" And Si HIPE9 = "NO" And Si HIPE10 = "NO" And Si HIPE11 = "SI" And Si HIPE12 = "NO" And Si HIPE13 = "SI" And Si HIPE14 = "NO" And Si HIPE15 = "NO" And Si HIPE16 = "SI" And Si HIPE17 = "SI" **ENTONCES** "Existe una alta probabilidad que la persona padece de Hipertiroidismo en **nivel: MODERADO**"

**R5.-** Si edad > "30" And Si sex ="HOMBRE" And Si peso = "5 a 20" And Si yodo < '170' And Si HIPE1 = "SI" And Si HIPE2 = "SI" And Si HIPE3 = "SI" And Si HIPE4 = "NO" And Si HIPE5 = "SI" And Si HIPE6 = "NO" And Si HIPE7 = "SI" And Si HIPE8 = "NO" And Si HIPE9 = "NO" And Si HIPE10 = "NO" And Si HIPE11 = "SI" And Si HIPE12 = "NO" And Si HIPE13 = "SI" And Si HIPE14 = "NO" And Si HIPE15 = "NO" And Si HIPE16 = "SI" And Si HIPE17 = "NO" **ENTONCES** "Existe una probabilidad que la persona padece de Hipertiroidismo en **nivel: MODERADO**"

**R6.-** Si edad > "30" And Si sex ="MUJER" And Si peso = "5 a 20" And Si yodo < '170' And Si HIPE1 = "SI" And Si HIPE2 = "SI" And Si HIPE3 = "SI" And Si HIPE4 = "SI" And Si HIPE5 = "SI" And Si HIPE6 = "SI" And Si HIPE7 = "SI" And Si HIPE8

= “SI” And Si HIPE9 = “SI” And Si HIPE10 = “SI” And Si HIPE11 = “NO” And Si HIPE12 = “SI” And Si HIPE13 = “SI” And Si HIPE14 = “SI” And Si HIPE15 = “SI” And Si HIPE16 = “SI” And Si HIPE17 = “SI” **ENTONCES** "Existe una alta probabilidad que la persona padece de Hipertiroidismo en **nivel: GRAVE**"

**R7.-** Si edad > “30” And Si sex ="MUJER" And Si peso = "5 a 20" And Si yodo < ‘170’ And Si HIPE1 = “SI” And Si HIPE2 = “SI” And Si HIPE3 = “SI” And Si HIPE4 = “SI” And Si HIPE5 = “SI” And Si HIPE6 = “NO” And Si HIPE7 = “SI” And Si HIPE8 = “SI” And Si HIPE9 = “SI” And Si HIPE10 = “SI” And Si HIPE11 = “NO” And Si HIPE12 = “SI” And Si HIPE13 = “SI” And Si HIPE14 = “SI” And Si HIPE15 = “SI” And Si HIPE16 = “SI” And Si HIPE17 = “NO” **ENTONCES** "Existe una alta probabilidad que la persona padece de Hipertiroidismo en **nivel: GRAVE**"

### 3.3.2.4 Defuzzificación de variables lingüísticas

Para explicar más detalladamente la fuzzificación de los términos que presentan ambigüedad tomamos como ejemplo el siguiente caso:

#### ✓ **Hipotiroidismo**

“Un hombre de 40 años que presenta piel engrosada, uñas quebradizas, lengua gruesa o grande”

Se toma en cuenta los síntomas que serán tratados con lógica difusa.

#### a) Piel engrosada

Tomamos un valor de 60 para determinar el grado de piel engrosada que presenta la persona:

Grave (x)	1	$x < 50$
	$\frac{70 - x}{70 - 50}$	$50 < x < 70$
	0	$x > 70$

$$\mu_{Grave}(60) = \frac{70 - 60}{70 - 50} = 0,5$$

b) Uñas quebradizas

Tomamos un valor de 66 para determinar el grado de uñas quebradizas que presenta la persona:

Grave (x)	1	$x < 50$
	$\frac{70 - x}{70 - 50}$	$50 < x < 70$
	0	$x > 70$

$$\mu_{Grave}(66) = \frac{70 - 66}{70 - 50} = 0,2$$

c) Lengua gruesa o grande

Tomamos un valor de 52 para determinar el grado de lengua gruesa o grande que presenta la persona:

Grave (x)	1	$x < 50$
	$\frac{70 - x}{70 - 50}$	$50 < x < 70$
	0	$x > 70$

$$\mu_{Grave}(52) = \frac{70 - 52}{70 - 50} = 0,9$$

Utilizamos la función de Centros Promediados:

Presenta piel engrosada, uñas quebradizas, lengua gruesa o grande

$$y = \frac{\text{piel engrosada} * \mu_{Grave} + \text{uñas quebradizas} * \mu_{Grave} + \text{lengua gruesa o grande} * \mu_{Grave}}{\mu_{Grave} + \mu_{Grave} + \mu_{Grave}}$$



$$y = \frac{60 * 0,5 + 66 * 0,2 + 52 * 0,9}{0,5 + 0,2 + 0,9}$$

$$y = \frac{30 + 13.2 + 46.8}{1.6}$$

$$y = 56.25$$

Por lo que podemos concluir que la persona presenta un 56.25% de certeza que padece de Hipotiroidismo

### ✓ **Hipertiroidismo**

“Una mujer de 32 años que presenta temblores constantemente, alteraciones menstruales, sudor excesivo constante y bocio en el cuello”.

Se toma en cuenta los síntomas que serán tratados con lógica difusa.

#### d) Temblores constantemente

Tomamos un valor de 20 para determinar el grado de temblor constante que presenta la persona:

Leve (x)	1	$x < 10$
	$\frac{30 - x}{30 - 10}$	$10 < x < 30$
	0	$x > 30$

$$\mu_{Leve}(20) = \frac{30 - 20}{30 - 10} = 0,5$$

#### e) Alteraciones menstruales

Tomamos un valor de 55 para determinar el grado de alteraciones menstruales que presenta la persona:

Moderado (x)	1	$x = 40$
	$\frac{x - 20}{40 - 20}$	$20 < x < 40$
	$\frac{60 - x}{60 - 40}$	$40 < x < 60$

	0	$x < 20$ ó $x > 60$
--	---	---------------------

$$\mu_{Moderado}(55) = \frac{60 - 55}{30 - 10} = \frac{5}{20} = 0,25$$

f) Sudor constante y excesivo

Tomamos un valor de 25 para determinar el grado de sudor constante y excesivo que presenta la persona:

	1	$x = 40$
Moderado (x)	$\frac{x - 20}{40 - 20}$	$20 < x < 40$
	$\frac{60 - x}{60 - 40}$	$40 < x < 60$
	0	$x < 20$ ó $x > 60$

$$\mu_{Moderado}(25) = \frac{25 - 20}{40 - 20} = \frac{5}{20} = 0,25$$

g) Bocio

Tomamos un valor de 55 para determinar el grado de bocio que presenta la persona:

	1	$x < 50$
Grave (x)	$\frac{70 - x}{70 - 50}$	$50 < x < 70$
	0	$x > 70$

$$\mu_{Grave}(55) = \frac{70 - 55}{70 - 50} = \frac{15}{20} = 0,75$$

Utilizamos la función de Centros Promediados:

$$z = \frac{\text{temblores constantemente} * \mu_{Leve} + \text{alteraciones menstruales} * \mu_{Moderado} + \text{sudor excesivo constante} * \mu_{Moderado} + \text{bocio} * \mu_{Grave}}{\mu_{Leve} + \mu_{Moderado} + \mu_{Moderado} + \mu_{Grave}}$$

$$z = \frac{20 * 0,5 + 55 * 0,25 + 25 * 0,25 + 55 * 0,75}{0,5 + 0,25 + 0,25 + 0,75}$$

$$z = \frac{10 + 13.75 + 6.25 + 41.25}{1.75}$$

$$z = 40.72$$

Por lo que podemos concluir que la persona presenta un 40.72% de certeza que padece de Hipertiroidismo.

### 3.4 Fase 4: Implementación

Luego de haber obtenido la información y transformado en reglas, procedemos a realizar el **prototipo del programa**. Ese prototipo presenta un interfaz de usuario amigable, es decir de fácil manejo e entendible para el usuario final.

#### 3.4.1 Prototipo

A continuación mostraremos las pantallas del sistema experto para detección del Hipotiroidismo e Hipertiroidismo. Empezaremos mostrando la pantalla principal del Sistema Experto y otras pantallas.



Figura 3.4.1: Pantalla de inicio

Este sistema experto esta designada a personas mayor o igual a 30 años, para dicha ejecución verificamos en esta pantalla ese requisito.

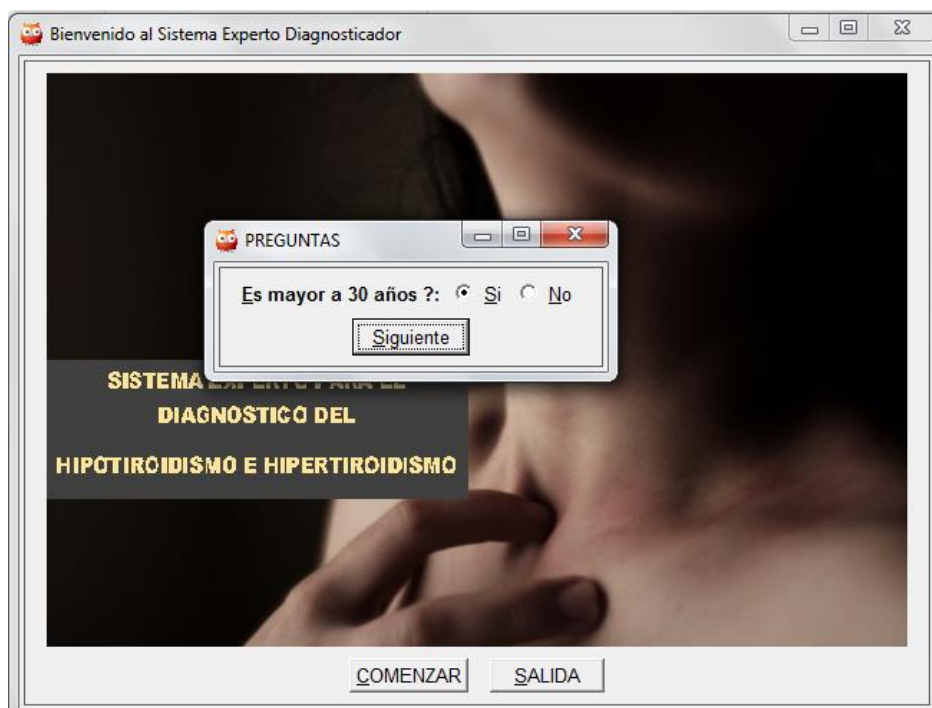


Figura 3.4.2: Pantalla de verificación de edad

Ingresamos al botón de Hipotiroidismo para detectar si la persona padece de esta enfermedad, y a continuación se muestra las preguntas.

El botón de Hipertiroidismo realiza la misma técnica para su respectivo diagnostico

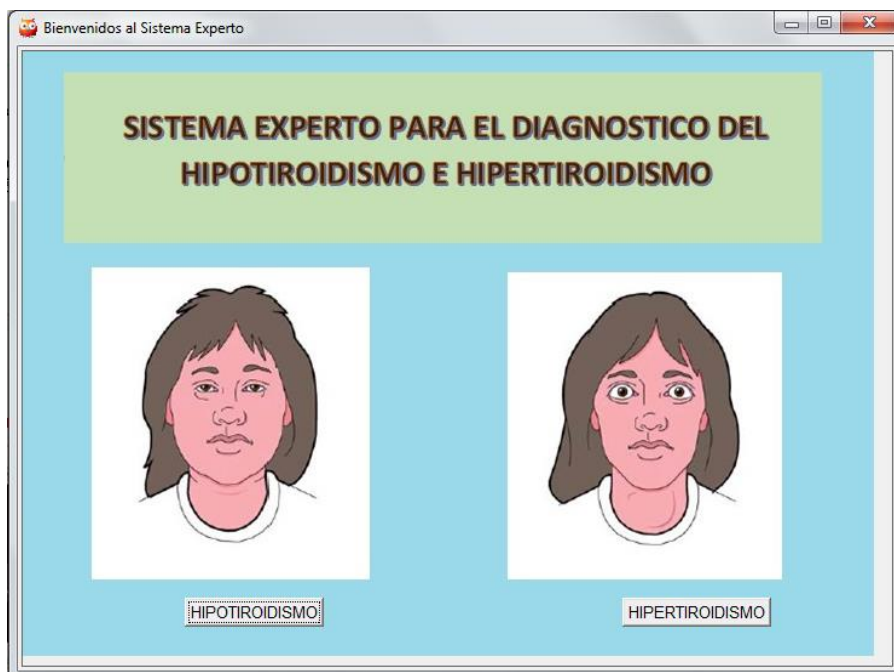


Figura 3.4.3: Pantalla del tipo de diagnóstico de enfermedad

**PREGUNTAS**

Frecuentemente se siente cansado ? :  Si  No

Sufre de perdida de apetito ? :  Si  No

Es intolerante al frio ? :  Si  No

Frecuentemente presenta mucho sueño ? :  Si  No

Tiene dificultad para concentrarse en sus actividades ? :  Si  No

Subio de peso apesar de no comer mucho ? :  Si  No

Tiene problemas de estreñimiento ? :  Si  No

Tiene problemas depresivos ? :  Si  No

Frecuentemente presenta pérdida de memoria ? :  Si  No

Presenta debilidad a momento de realizar sus actividades ? :  Si  No

Tiene una fatiga constante ? :  Si  No

Presenta voz ronca y/o aguda constantemente ? :  Si  No

**Siguiente**

Figura 3.4.4: Rol de preguntas 1 para dicha detección

**PREGUNTAS**

**S**i  **N**o  
Constante caída de cabello ? :

**S**i  **N**o  
Pérdida de la cola de las cejas ? :

**S**i  **N**o  
Lengua gruesa y/o grande ? :

**S**i  **N**o  
Tiene edemas en e cuerpo ? :

**S**i  **N**o  
Normalmente tiene uñas quebradizas ? :

**S**i  **N**o  
Cabello enmarañado y sin brillo ? :

**S**i  **N**o  
Piel engrosada de color amarillo, seco, frío, pálido en cualquier parte el cuerpo ? :

**S**i  **N**o  
Edemas en la cara ? :

**S**i  **N**o  
Presenta labios gruesos (no desde nacimiento) ? :

**S**i  **N**o  
Normalmente los párpados se encuentran hinchados ? :

**S**i  **N**o  
Su padre o madre presenta hipotiroidismo ? :

**S**i  **N**o  
Fuma constantemente ? :

**Siguiente**

Figura 3.4.5: Rol de preguntas 2 para dicha detección

Y finalmente se muestra un diagnóstico final.



Figura 3.4.6: Diagnóstico emitido por el Sistema Experto

## CAPITULO 4

### PRUEBA DE HIPOTESIS

Realizamos la evaluación respectiva de la hipótesis planteada al inicio de esta tesis, la cual es una herramienta para realizar el diagnóstico del Hipotiroidismo e Hipertiroidismo. La hipótesis planteada es:

**“El diseño de un Sistema Experto basado en lógica difusa coadyuvará al diagnóstico del Hipertiroidismo e Hipotiroidismo”.**

La demostración de la hipótesis se realiza iniciando con el denominado contraste de Rachas de Wald – Wolfowitz. Lo aplicamos al problema investigado, porque utilizamos muestras, a continuación describimos el método de Rachas de Wald – Wolfowitz.

#### 4.1 Contraste de Rachas de Wald –Wolfowitz

Supongamos una población cuya función de distribución es desconocida y sea  $X$  la variable aleatoria asociada a esa población, la cual solo puede tomar dos posibles valores, como por ejemplo, verdad (V) y falso (F), o bien masculino (M) y femenino (F), etc.

Consideramos una muestra de tamaño  $n$  con el fin de plantear el siguiente contraste de aleatoriedad:

$H_0$ : La muestra es aleatoria

$H_1$ : La muestra no es aleatoria

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

R: Número total de rachas de la muestra

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

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

Siendo:

$$E[R] = \frac{2n_1n_2}{n_1 + n_2} + 1$$

$$Var[R] = \frac{2n_1n_2(2n_1n_2 - n_1 - n_2)}{(n_1 + n_2)^2(n_1 + n_2 - 1)}$$

Por consiguiente para muestras grandes se verifica:

$$Z = \frac{R - E[R]}{\sqrt{Var[R]}} + 1$$

Para muestra concreta el valor estadístico será:

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

Donde R es el número total de rachas observadas de la muestra.



La región de aceptación de la hipótesis nula será:

$$-Z_{\frac{\alpha}{2}} < Z_{exp} < Z_{\frac{\alpha}{2}}$$

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

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

#### 4.1.1 Desarrollo de la prueba de hipótesis

##### Paso 1: Planteamiento de la Hipótesis nula

“El diseño de un Sistema Experto basado en lógica difusa coadyuvará al diagnóstico del Hipertiroidismo e Hipotiroidismo”.

##### Paso 2: Selecciona el nivel de confianza

$$\text{Nivel de confianza} = (1 - \alpha) * 100\%$$

El nivel de confianza o significación que se elige es el 90%, reemplazando en la fórmula anterior se obtiene que  $\alpha=0.05$  elegida en la Tabla Normal.

##### Paso 3: Identificación del Estadístico de prueba

La prueba de Rachas o Wald Wolfowitz utiliza los signos de los residuos y variaciones de negativos y positivos o viceversa. Una racha vendrá constituida por los signos iguales.

##### Paso 4: Formulación de la regla de decisión

Tabla 4.1-1: Comparación entre el diagnóstico del médico y el sistema experto

Nro	SEXO	EDAD	DIAGNOSTICO DEL ENDOCRINOLOGO	DIAGNOSTICO DEL SISTEMA EXPERTO	APR
1	Mujer	33 años	Hipotiroidismo Grave	Hipotiroidismo Grave	+
2	Varón	45 años	Hipotiroidismo Leve	Hipotiroidismo Leve	+
3	Mujer	31 años	Hipotiroidismo Moderado	Hipotiroidismo Leve	-

4	Mujer	40 años	Hipotiroidismo Moderado	Hipotiroidismo Moderado	+
5	Mujer	30 años	Hipotiroidismo Leve	Hipotiroidismo Leve	+
6	Varón	55 años	Hipotiroidismo Leve	Hipotiroidismo Leve	+
7	Mujer	46 años	Hipotiroidismo Moderado	Hipotiroidismo Leve	-
8	Varón	70 años	Hipotiroidismo Leve	Hipotiroidismo Leve	+
9	Mujer	70 años	Hipertiroidismo Grave	Hipertiroidismo Grave	+
10	Mujer	48 años	Hipertiroidismo Leve	Hipertiroidismo Leve	+
11	Mujer	34 años	Hipertiroidismo Leve	Hipertiroidismo Moderado	-
12	Mujer	40 años	Hipertiroidismo Moderado	Hipertiroidismo Leve	-
13	Varón	33 años	Hipertiroidismo Leve	Hipertiroidismo Moderado	-
14	Mujer	67 años	Hipertiroidismo Leve	Hipertiroidismo Leve	+
15	Mujer	56 años	Hipertiroidismo Grave	Hipertiroidismo Grave	+
16	Mujer	46 años	Hipertiroidismo Leve	Hipertiroidismo Leve	+

Siguiendo la aceptación de las rachas tenemos los siguientes resultados:

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

Donde se tiene lo siguiente:

- (-) Representa los casos que no coincide el diagnostico proporcionado por el médico y el sistema experto.
- (+) Representa los casos que coincide el diagnostico proporcionado por el médico y el sistema experto.

Siendo que el total de rachas son:

Tabla 4.1-2: Sumas Totales de Rachas

Total Rachas Expuestas	$R_{exp} = 7$
Número total de Observaciones	16
Numero de Residuos Positivos (+)	11
Numero de Residuos Negativos (-)	5

Reemplazamos los datos anteriores en las ecuaciones:

Esperanza

$$E[R] = \frac{2n_1n_2}{n_1 + n_2} + 1$$

$$E[R] = \frac{2 * 11 * 5}{11 + 5} + 1 = 6.875$$

Varianza:

$$Var[R] = \frac{2n_1n_2(2n_1n_2 - n_1 - n_2)}{(n_1 + n_2)^2(n_1 + n_2 - 1)}$$

$$Var[R] = \frac{(2*11*5)(2*11*5-11-5)}{(11+5)^2(11+5-1)} = 2.69$$

### Paso 5: Toma de decisión

Para una muestra concreta de valor estadístico  $Z_{exp}$  reemplazando los datos se tiene:

$$Z = \frac{R - E[R]}{\sqrt{Var[R]}} + 1$$

$$Z = \frac{7 - 6.875}{\sqrt{2.69}} + 1 = 1.07$$

Para calcular la región de aceptación de la hipótesis es necesario hallar el valor de  $Z_{\frac{\alpha}{2}}$

que se obtiene de la tabla N (0,1) de manera que cumpla:

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

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

$$1 - P(Z_1 < Z_{\frac{\alpha}{2}}) = \frac{\alpha}{2}$$

$$P(Z_1 < Z_{\frac{\alpha}{2}}) = 1 - \frac{\alpha}{2}$$

$$P(Z_1 < Z_{\frac{\alpha}{2}}) = 1 - 0.025$$

$$P(Z_1 < Z_{\frac{\alpha}{2}}) = 0.975$$

$$Z_{\frac{\alpha}{2}} = 1.96$$

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

$$P(Z_1 \geq -Z_{\frac{\alpha}{2}}) = 1 - 0.025$$

$$P(Z_1 \geq -Z_{\frac{\alpha}{2}}) = 0.975$$

$$Z_{\frac{\alpha}{2}} = 1.96$$

Por lo tanto, la región de aceptación de la hipótesis nula es:

$$-Z_{\frac{\alpha}{2}} < Z_{exp} < Z_{\frac{\alpha}{2}}$$

$$-1.96 < 1.07 < 1.96$$

Donde podemos observar que el valor  $Z_{exp} = 1.07$  cae dentro del intervalo de aceptación de la hipótesis, por lo que se puede afirmar que la tesis es un trabajo valido y que lo datos de muestra so aleatorios

## **CAPITULO 5**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **5.1 Conclusiones**

El Sistema Experto de Diagnóstico de Hipotiroidismo e Hipertiroidismo, logró alcanzar los objetivos planteados en el capítulo 1, el cual fue organizado mediante la metodología Buchanan, codificado en un lenguaje de programación swi prolog.

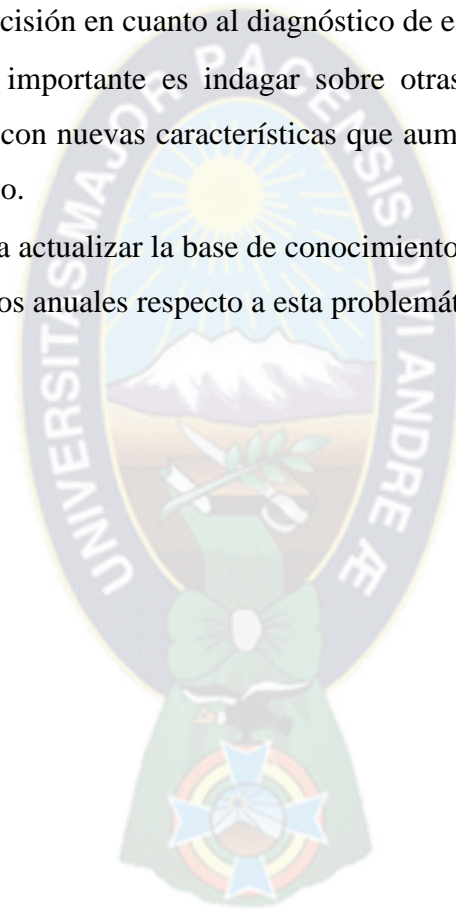
Su interfaz gráfica es muy fácil de usar y entendible por cualquier persona que manipule el sistema. El prototipo luego de la realización de las pruebas ha demostrado que es eficaz en el diagnóstico del Hipotiroidismo e Hipertiroidismo.

Con respecto al diseño del prototipo, se cumplió con el desarrollo de las etapas propuestas de la Metodología Buchanan, prosiguiendo a formalizar dicho conocimiento utilizando lógica difusa, sacando variables lingüísticas con las cuales se realizó los conjuntos difusos con respectivas funciones de pertenencia y la elaboración de las reglas difusas.

Se demostró que la lógica difusa permite al sistema experto dar un diagnóstico sobre el Hipotiroidismo e Hipertiroidismo con un nivel de confianza del 95%.

## 5.2 Recomendaciones

- Para demostrar la fiabilidad del sistema, solo se han considerado solo 16 casos de estudio, se recomienda considerar más casos con el fin de garantizar la confiabilidad del sistema experto
- En el presente trabajo solo se tomó en cuenta personas mayores a los 30 años se recomienda ampliar la investigación para personas de cualquier tipo de edad.
- Se recomienda ampliar el prototipo en cuestión a más preguntas que puedan tener una mejor precisión en cuanto al diagnóstico de estas enfermedades
- Otro aspecto importante es indagar sobre otras herramientas, implementar y experimentar con nuevas características que aumenten el desempeño de la tarea del diagnóstico.
- Se recomienda actualizar la base de conocimiento, con regularidad. Según nuevos estudios anuales respecto a esta problemática.



## BIBLIOGRAFIA

Sampieri, H. (2014). *Metodología de la Investigación*. México

S. Badaro, L. J. Ibañez y M. J. Agüero. (2013). *Sistemas Expertos: Fundamentos, Metodologías y Aplicaciones*. Ciencia y Tecnología, 13, 349-364.

Lazo, R. A. (2011). *Sistema Experto Basado en Lógica Difusa Tipo 1 para Determinar el Grado de Riesgo de Preclampsia*. Tesis de grado no publicada, Universidad Mayor de San Andrés, La Paz, Bolivia.

Mendoza, M. M. (2011). *Modelo de diagnóstico y tratamiento de pancreatitis aguda mediante lógica difusa*. Tesis de grado no publicada, Universidad Mayor de San Andrés, La Paz, Bolivia.

Mencia, C. (2015). *Sistema experto para el diagnóstico y tratamiento de enfermedades reumáticas del tejido conectivo basado en lógica difusa*. Tesis de grado no publicada, Universidad Mayor de San Andrés, La Paz, Bolivia.

Paricollo, S. (2012). *Sistema basado en conocimiento para diagnóstico de displacia de cadera niñas de 3 a 12 meses*. Tesis de grado no publicada, Universidad Mayor de San Andrés, La Paz, Bolivia.

Enriquez, A. J. (2012). *Sistema experto para el diagnóstico de enfermedades diarreicas agudas en niños menores de 5 años basado en lógica difusa*. Tesis de grado no publicada, Universidad Mayor de San Andrés, La Paz, Bolivia.

Ponce, P. (2010). *Inteligencia artificial con aplicaciones a la ingeniería*. México. Ed. Alfa omega.

Matich, D. J. (2001). *Redes Neuronales: Conceptos Básicos y Aplicaciones. Informática Aplicada a la Ingeniería de Procesos – Orientación I*. Recuperado de [https://www.frro.utn.edu.ar/repositorio/catedras/quimica/5\\_anio/orientadora1/monograias/matich-redesneuronales.pdf](https://www.frro.utn.edu.ar/repositorio/catedras/quimica/5_anio/orientadora1/monograias/matich-redesneuronales.pdf)

Castillo, E., Gutiérrez, J. M. y Hadi, A. S. (2010). *Sistemas Expertos y Modelos de Redes Probabilísticas*. Recuperado de <http://personales.unican.es/gutierjm/papers/BookCGH.pdf>

American Thyroid Association. (2014). *Hipertiroidismo*. Recuperado de <http://www.thyroid.org/wp-content/uploads/patients/brochures/espanol/hipertiroidismo.pdf>

Castillo, Y., Bell, M., Díaz, J. y Troncoso, A. (2001). *Hipertiroidismo: etiología, diagnóstico y tratamiento*. *Med Dom*, 62 (1), 52-58. Recuperado de <http://www.medigraphic.com/pdfs/derrevmex/rmd-2015/rmd155f.pdf>

American Thyroid Association. (2014). *Hipotiroidismo*. Recuperado de <http://www.thyroid.org/wp-content/uploads/patients/brochures/espanol/hipotiroidismo.pdf>

Luque, M. (2011). *Endocrinología, metabolismo y nutrición*. Madrid. Ed. CTO.

Barrientos, R., Cruz, N., Acosta, H., Rabatte, I., Gogeochea, M., Pavón, P. y Blazquez, S. (2009). *Arboles de decisión como herramienta en el diagnóstico médico*. Recuperado de [arboles.pdf](#).

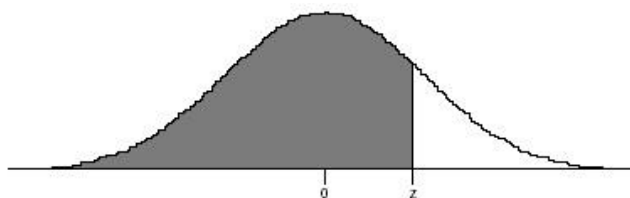




# ANEXOS

## ANEXO A

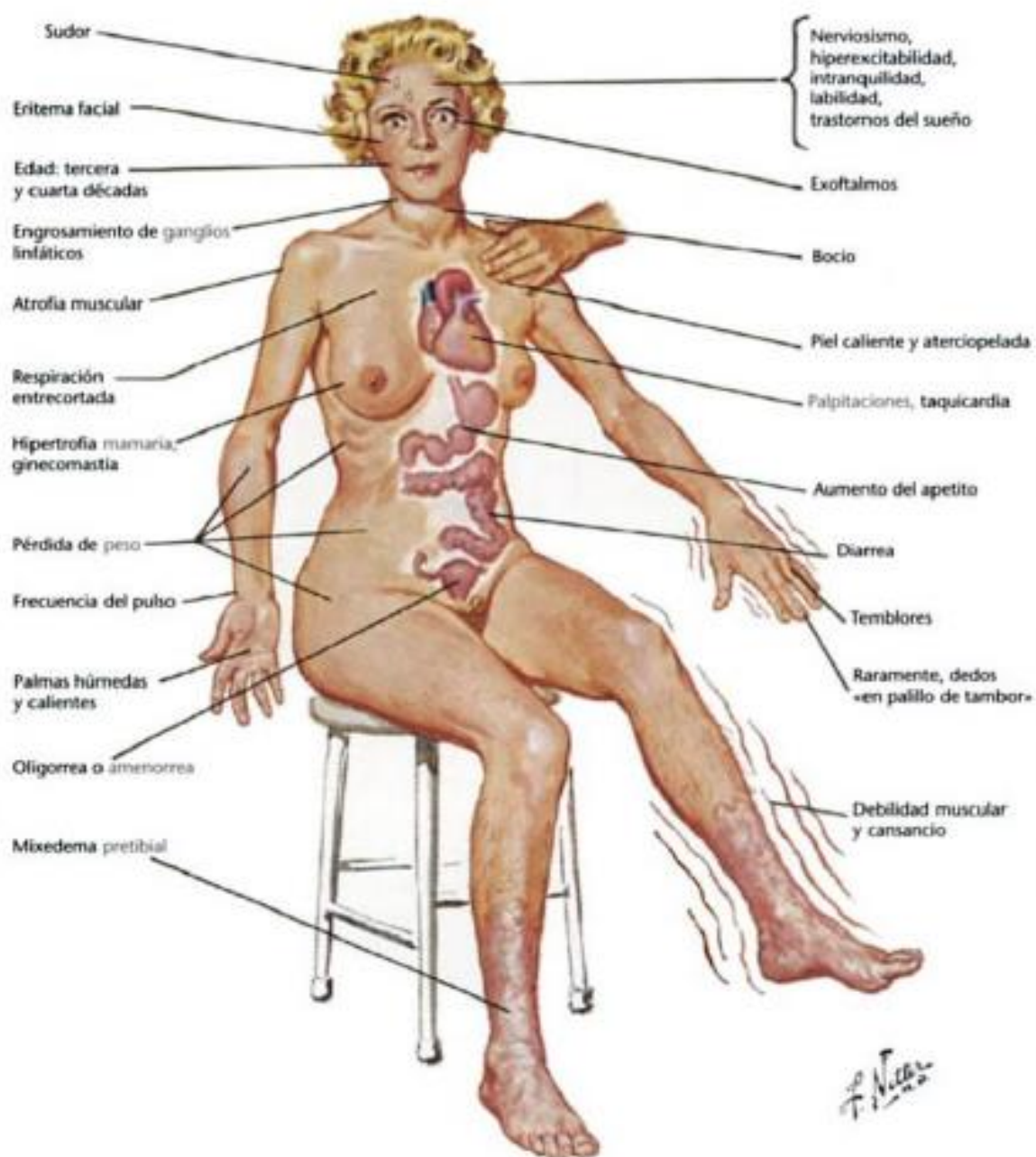
## TABLA NORMAL DE DISTRIBUCION



Normal Deviate z	.00	.01	.02	.03	.04	.05	.06	.07	.08	.09
-4.0	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
-3.9	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
-3.8	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
-3.7	.0001	.0001	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
-3.6	.0002	.0002	.0001	.0001	.0001	.0001	.0001	.0001	.0001	.0001
-3.5	.0002	.0002	.0002	.0002	.0002	.0002	.0002	.0002	.0002	.0002
-3.4	.0003	.0003	.0003	.0003	.0003	.0003	.0003	.0003	.0003	.0002
-3.3	.0005	.0005	.0005	.0004	.0004	.0004	.0004	.0004	.0004	.0003
-3.2	.0007	.0007	.0006	.0006	.0006	.0006	.0006	.0005	.0005	.0005
-3.1	.0010	.0009	.0009	.0009	.0008	.0008	.0008	.0008	.0007	.0007
-3.0	.0013	.0013	.0013	.0012	.0012	.0011	.0011	.0011	.0010	.0010
-2.9	.0019	.0018	.0018	.0017	.0016	.0016	.0015	.0015	.0014	.0014
-2.8	.0026	.0025	.0024	.0023	.0023	.0022	.0021	.0021	.0020	.0019
-2.7	.0035	.0034	.0033	.0032	.0031	.0030	.0029	.0028	.0027	.0026
-2.6	.0047	.0045	.0044	.0043	.0041	.0040	.0039	.0038	.0037	.0036
-2.5	.0062	.0060	.0059	.0057	.0055	.0054	.0052	.0051	.0049	.0048
-2.4	.0082	.0080	.0078	.0075	.0073	.0071	.0069	.0068	.0066	.0064
-2.3	.0107	.0104	.0102	.0099	.0096	.0094	.0091	.0089	.0087	.0084
-2.2	.0139	.0136	.0132	.0129	.0125	.0122	.0119	.0116	.0113	.0110
-2.1	.0179	.0174	.0170	.0166	.0162	.0158	.0154	.0150	.0146	.0143
-2.0	.0228	.0222	.0217	.0212	.0207	.0202	.0197	.0192	.0188	.0183
-1.9	.0287	.0281	.0274	.0268	.0262	.0256	.0250	.0244	.0239	.0233
-1.8	.0359	.0351	.0344	.0336	.0329	.0322	.0314	.0307	.0301	.0294
-1.7	.0446	.0436	.0427	.0418	.0409	.0401	.0392	.0384	.0375	.0367
-1.6	.0548	.0537	.0526	.0516	.0505	.0495	.0485	.0475	.0465	.0455
-1.5	.0668	.0655	.0643	.0630	.0618	.0606	.0594	.0582	.0571	.0559
-1.4	.0808	.0793	.0778	.0764	.0749	.0735	.0721	.0708	.0694	.0681
-1.3	.0968	.0951	.0934	.0918	.0901	.0885	.0869	.0853	.0838	.0823
-1.2	.1151	.1131	.1112	.1093	.1075	.1056	.1038	.1020	.1003	.0985
-1.1	.1357	.1335	.1314	.1292	.1271	.1251	.1230	.1210	.1190	.1170
-1.0	.1587	.1562	.1539	.1515	.1492	.1469	.1446	.1423	.1401	.1379
-.9	.1841	.1814	.1788	.1762	.1736	.1711	.1685	.1660	.1635	.1611
-.8	.2119	.2090	.2061	.2033	.2005	.1977	.1949	.1922	.1894	.1867
-.7	.2420	.2389	.2358	.2327	.2296	.2266	.2236	.2206	.2177	.2148
-.6	.2743	.2709	.2676	.2643	.2611	.2578	.2546	.2514	.2483	.2451
-.5	.3085	.3050	.3015	.2981	.2946	.2912	.2877	.2843	.2810	.2776
-.4	.3446	.3409	.3372	.3336	.3300	.3264	.3228	.3192	.3156	.3121
-.3	.3821	.3783	.3745	.3707	.3669	.3632	.3594	.3557	.3520	.3483

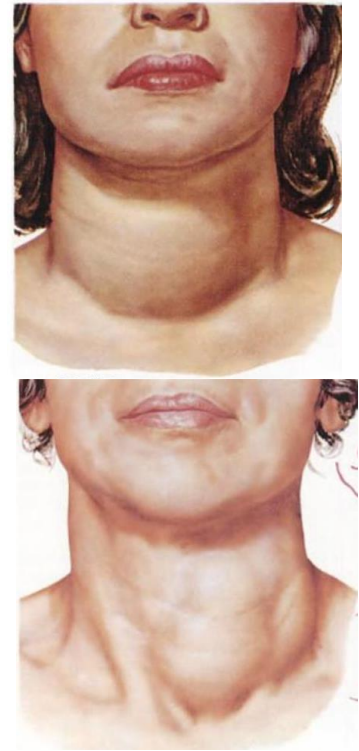
## ANEXO B

## HIPERTIROIDISMO



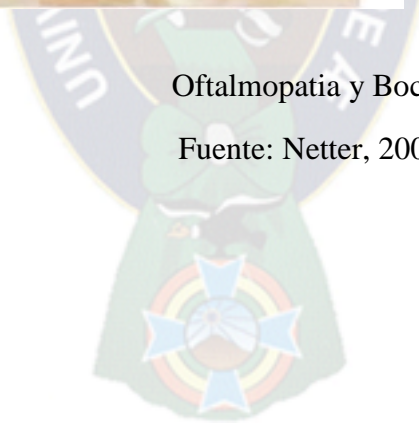
Síntomas típicos del hipertiroidismo de la enfermedad de Basedow.

Fuente: Netter, 2003.

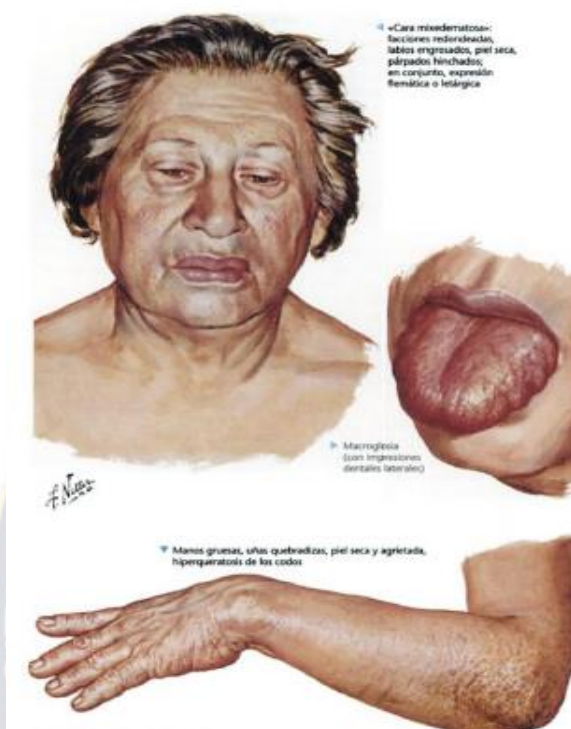


Oftalmopatía y Bocio.

Fuente: Netter, 2003.



## HIPOTIROIDISMO



Manifestaciones típicas del hipotiroidismo.

Fuente: Netter, 2003.



# **DOCUMENTACION**