

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERIA DE SISTEMAS INFORMATICOS**



# **INVESTIGACION APLICADA AL AREA DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL Y DESARROLLO DE UN SISTEMA EXPERTO**

PRESENTADO POR:

**CHICAS VILLEGAS, RUDY WILFREDO  
CONTRERAS AYALA, HUGO ERNESTO  
CORTEZ RECINOS, RUTH PATRICIA  
GUTIERREZ RECINOS, DANNY WILLIAM**

PARA OPTAR AL TITULO DE

**INGENIERO DE SISTEMAS INFORMATICOS**

CIUDAD UNIVERSITARIA, AGOSTO DE 2004

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**

RECTORA :

DRA. MARIA ISABEL RODRIGUEZ

SECRETARIA GENERAL :

LICDA. ALICIA MARGARITA RIVAS DE RECINOS

**FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**

DECANO :

ING. MARIO ROBERTO NIETO LOVO

SECRETARIO :

ING. OSCAR EDUARDO MARROQUIN HERNANDEZ

**ESCUELA DE INGENIERIA DE SISTEMAS INFORMATICOS**

DIRECTOR :

ING. JULIO ALBERTO PORTILLO

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERIA DE SISTEMAS INFORMATICOS**

**TRABAJO DE GRADUACION PREVIO A LA OPCION AL GRADO DE:  
INGENIERO DE SISTEMAS INFORMATICOS**

TITULO :

**INVESTIGACION APLICADA AL AREA DE INTELIGENCIA  
ARTIFICIAL Y DESARROLLO DE UN SISTEMA EXPERTO**

PRESENTADO POR :

**CHICAS VILLEGAS, RUDY WILFREDO  
CONTRERAS AYALA, HUGO ERNESTO  
CORTEZ RECINOS, RUTH PATRICIA  
GUTIERREZ RECINOS, DANNY WILLIAM**

TRABAJO DE GRADUACION APROBADO POR:

DOCENTES DIRECTORES :

**ING. CARLOS ERNESTO GARCIA, M.S.**

**ING. JOSE ALBERTO MARTINEZ CAMPOS**

SAN SALVADOR, AGOSTO DE 2004

**TRABAJO DE GRADUACION APROBADO POR:**

**DOCENTES DIRECTORES :**

**ING. CARLOS ERNESTO GARCIA, M.S.**

**ING. JOSE ALBERTO MARTINEZ CAMPOS**

---

## AGRADECIMIENTOS

---

A través de estas letras, queremos agradecer al doctor Héctor Manuel Ramos Hernández. Médico graduado de la Universidad Evangélica de El Salvador y especialista en enfermedades tropicales graduado de la UFEPE (Brasil), quien a ha sido una de las personas más importantes para la realización de este proyecto.

Al iniciar la etapa del proyecto en la que debíamos seleccionar un dominio de aplicación para lo que ahora es el SEDENTropic, se nos presentó una de las dificultades más importantes para el desarrollo del sistema: encontrar a un experto humano.

En el proceso de búsqueda del experto, tuvimos la oportunidad de encontrarnos con el Dr. Ramos, quien con el entusiasmo que le caracteriza, aceptó de inmediato nuestra propuesta. Conociendo las necesidades de tiempo de nuestro proyecto, ajustó su agenda para colaborar con nosotros.

En el transcurso del desarrollo del sistema nos mostró una gran calidad humana. Contribuyendo no solamente con su conocimiento, sino además con su calidez, humildad, solidaridad, responsabilidad y ética profesional. Cualidades que serán un verdadero ejemplo que llevaremos siempre con nosotros.

Ahora al ver nuestro proyecto realizado, nos sentimos satisfechos del trabajo realizado.

*Gracias Dr. Ramos.*

---

---

## AGRADECIMIENTOS

---

Ahora que he llegado al final de mi carrera, es inevitable pensar en aquellos a quienes debo de agradecer por ayudarme a llegar hasta aquí. Inicio pues esta difícil labor disculpándome con aquellos a quienes no he podido mencionar aquí y aquellos otros a los que quizá no les agrade mis palabras.

Agradezco a mi familia. Por haber estado aquí, en este espacio y tiempo al que me toco llegar. A Ustedes les dedico este logro, especialmente a vos mamá que sos la mayor responsable de lo que ahora soy. Gracias por haberme enseñado de honestidad, solidaridad, amor y valor para luchar por lo que es justo. Pero sobre todo, gracias por tu sacrificio.

Gracias Claudia, por el sacrificio que hiciste para permitir que yo continuara esta carrera que ahora se termina. Gracias papá, por haberme enseñado de paciencia, de justicia, de razón y tantas otras cosas que seguramente llevaré conmigo.

A mis compañeros de grupo, por haberme dado la oportunidad de trabajar con ellos y por ser; más que compañeros, verdaderos amigos con los que ahora sé que puedo contar. Agradezco especialmente a Hugo y Danny, por que sin su esfuerzo y dedicación no hubiésemos podido llegar hasta aquí.

A la familia Gutiérrez Recinos, por habernos permitido entrar en su hogar y soportar las incomodidades que les ocasionábamos.

A mis amigos. Aquellos que encontré en la infancia. Con los que compartimos los sueños de vernos viejos, sin nada más que la alegría de haber envejecido con lo único que necesita un hombre para envejecer. Los que se alegraron al saber que iba tener la oportunidad de venir aquí, a la casa grande. Los que luego me reclamaron con voz alta que tenía que volver de vez en cuando a ese lugar, para que no olvidara de donde salí y todo lo que ahí tenía. A todos, gracias por estar ahí siempre.

Aquellos que encontré en la Universidad. Gracias Jami, por haberme acompañado durante tanto tiempo. Gracias Marcela, por haberme mostrado más de una vez tu amistad verdadera.

---

---

Aquellos que encontré durante una de las etapas más importantes de mi vida: mi paso por la organización estudiantil. Donde tuve la oportunidad de poner de manifiesto mi voluntad por alcanzar los sueños de juventud rebelde y de ser un aprendiz de humanidad. Gracias a Gulnara, Miguel, Oscar, Cesar, Robin, Raúl, Edwin, Eli, Carlos Vásquez, Carlos Pacheco, Viron y otros tantos compañeros que ahora me es imposible mencionar.

A Katya Gutiérrez, quien ha sido una de las personas que más me ha apoyado en este proceso. Gracias princesa por tu apoyo y tu paciencia.

Agradezco también al Ing. Julio Portillo y al Ing. Carlos García, con quienes comparto el deseo de hacer de nuestra escuela un lugar en el que se construya humanidad.

Gracias a todos.

*Rudy Wilfredo Chicas Villegas*

---

---

## AGRADECIMIENTOS

---

La vida es un mar de sueños que no siempre se llegan a cumplir, para mí llegó el momento de realizar uno de mis grandes sueños, ser un Ingeniero. Aunque mi vida no termina aquí y este es un incentivo más en mi camino, ha sido una experiencia muy satisfactoria que proporcionó lo necesario para sentar una base y alcanzar las metas que aún no he explorado. Ojalá que muchas personas tengan las oportunidades que a mi se me presentaron.

Fueron muchos familiares y amigos, los que me ayudaron y orientaron en el camino a mi objetivo, de quienes en especial, quisiera mencionar:

Ante todo a mis padres, José Luis Contreras y Carmen Ayala de Contreras, quienes depositaron su confianza y apoyo en mi, ellos representan una parte fundamental de mi vida, y gracias a sus consejos siempre he logrado llegar lejos.

A mis hermanos Katie, José y Vanessa, por creer en mi, darme su apoyo y soportarme en los días más duros de mi carrera. Su interés fue muy importante para mí.

A una persona muy especial Kathya Lemus, por estar junto a mí dándome ánimo y cariño. Por celebrar conmigo triunfos y consolarme en fracasos. Por comprender mi falta de tiempo, y ayudarme cada vez que lo necesito.

A mis compañeros de trabajo de graduación con los que reímos y sufrimos en el desarrollo del proyecto, y que aprendimos mucho de esta experiencia. En especial a Danny y Rudy con quienes nos esforzamos y divertimos en el camino.

A todos mis amigos y amigas que con sus incansables palabras de aliento, me ayudaron a alcanzar esta meta. Aquellos que aún están aquí y los que ya no están entre nosotros. Ellos notaron el esfuerzo durante mi carrera, me respetaron y escucharon cuando lo necesité.

"A partir de cierto punto no hay retorno. Ese es el punto que hay que alcanzar." F.K.

"Puede ser un héroe lo mismo el que triunfa que el que sucumbe, pero jamás el que abandona el combate." C.T

*Hugo Contreras*

---



---

## AGRADECIMIENTOS

---

Primero, a Dios, pues es él quien me ha permitido salir adelante y terminar la carrera. Me ha regalado también un tiempo maravilloso en la Universidad, en donde no solo he aprendido, sino que he podido conocer a mis amigos.

A mis padres Virgilio y Marta Ruth:

Pues ellos han estado apoyándome siempre, y animándome en los momentos más difíciles.

A mamá Oty:

Por haberme dado posada cuando tenía que estudiar con mis compañeros... pero más que todo por el apoyo y cariño que siempre me ha dado.

A tío Nelson:

Gracias por su cariño y porque siempre estuvo dispuesto a ayudarme y me sacó de muchos apuros.

A tío David y tía Paty:

Por todo el cariño y comprensión que me han dado durante todo el tiempo.

A mis hermanos:

Diana, Judith, Isaac, Abraham y Sarita, por aguantarme.

A mis compañeros de tesis:

Danny, Rudy, Hugo, gracias por permitirme trabajar con ustedes, tenerme paciencia y darme su amistad.

A mis amigos:

Lorena, Astrid, Fabricio, Gladys, Pedro Luis, Reyes, Jimmy, Fran, y Edgar. ¡Pónganse las pilas niños, que quiero estar en los agradecimientos de su tesis también!

---

---

A toda la gente que he conocido y con la que he podido compartir buenos momentos.

A mis asesores:

Gracias por creer en nosotros y apoyarnos.

A mis maestros:

Gracias por compartir sus conocimientos conmigo, y por permitirme trabajar con ustedes aunque fuera un breve pero agradable tiempo.

Al Doctor Héctor Ramos:

Gracias por su disposición, ayuda en nuestro trabajo, y por regalarnos parte de su valioso tiempo.

A la familia de Danny:

Gracias por darnos posada todo este tiempo y tenernos paciencia.

*Ruth Patricia Cortez Recinos*

---

---

## AGRADECIMIENTOS

---

Estoy muy satisfecho y feliz de poder graduarme como profesional, de haber alcanzado ese objetivo que imagine hace muchos años, sin saber los inconvenientes o situaciones favorables que encontraría para llegar a la meta. Además estoy muy alegre de poder ver atrás y poder dar gracias a aquellas personas que me extendieron una mano en el camino y que unido con el propio esfuerzo se transformaron en este triunfo.

Por eso, quiero dedicar estas palabras de agradecimiento a Dios y a todas aquellas personas que me brindaron su ayuda y amistad, haciendo que la vida fuera más fácil y llevadera durante todos los años de estudio y principalmente en el desarrollo de este proyecto.

Principalmente agradezco y dedico este triunfo a mis padres Ascensión Gutiérrez y Maria Ángela Recinos de Gutiérrez y a mi abuela Francisca Recinos Alvarenga, por ser las personas que me dieron su amor, cariño, comprensión y su apoyo incondicional, con el cual fue posible llegar hasta aquí.

A mis hermanos Yasminia, Karina y Marvin, que fueron los que me aguantaron y comprendieron en esas circunstancias en las que les ocasione molestias.

A mis tíos y primos que estuvieron pendientes de mí, y sé que ahora están felices de que he concluido con este objetivo.

A mis amigos y compañeros que me brindaron su amistad, con los que pase momentos y experiencias agradables y difíciles, en las que tuve alegrías y tristezas que me han permitido crecer como persona. Especialmente gracias a Leslie, Saúl, Fran, Jimmy y Pedro por ser mis grandes amigos y a todos los del mundo Champer's que hicieron que los días de universidad fueran inolvidables.

A mis compañeros de trabajo de graduación que me tuvieron paciencia y me brindaron su amistad, especialmente a Hugo y Rudy, que sin ellos este éxito no sería posible.

A todos:

Gracias totales.....

*Danny William Gutiérrez Recinos*

---

# CONTENIDO

<b>INTRODUCCION .....</b>	<b>I</b>
<b>OBJETIVOS .....</b>	<b>III</b>
GENERAL .....	iii
ESPECIFICOS .....	iii
<b>ALCANCES .....</b>	<b>IV</b>
<b>JUSTIFICACION .....</b>	<b>V</b>
<b>IMPORTANCIA .....</b>	<b>VII</b>
<b>PARTE I INVESTIGACION PRELIMINAR .....</b>	<b>1</b>
<b>CAPITULO I: INTELIGENCIA ARTIFICIAL .....</b>	<b>2</b>
<b>1. ORIGEN Y EVOLUCION DE LA IA .....</b>	<b>3</b>
<b>2. CONCEPTUALIZACION.....</b>	<b>12</b>
2.1 INTELIGENCIA.....	12
2.2 INTELIGENCIA ARTIFICIAL .....	13
ACTUAR COMO HUMANO .....	14
PENSAR COMO HUMANO .....	15
PENSAR RACIONALMENTE .....	16
ACTUAR RACIONALMENTE .....	17
<b>3. SISTEMAS INTELIGENTES.....</b>	<b>18</b>
3.1 ONTOLOGIA GENERAL .....	18
3.2 MEDIOAMBIENTE .....	18
3.3 INSTINTO (Capacidad de supervivencia) .....	19
3.4 APRENDIZAJE (Autonomía) .....	20
3.5 RAZONAMIENTO (Planificación) .....	20
<b>4. TECNICAS DE REPRESENTACION DEL CONOCIMIENTO .....</b>	<b>23</b>
4.1 DEFINICION Y CARACTERISTICAS.....	23
4.2 CLASIFICACION DE LAS TECNICAS DE REPRESENTACION .....	24
4.3 TECNICAS DE REPRESENTACION DE CONOCIMIENTO .....	25
4.3.1 LOGICA PROPOSICIONAL.....	25
4.3.2 LOGICA DE PREDICADOS.....	33
4.3.3 REDES SEMANTICAS .....	43
4.3.4 FRAMES .....	48
4.3.5 SISTEMAS DE PRODUCCION .....	54
4.3.6 REDES NEURONALES.....	57
4.3.7 LOGICA DIFUSA .....	71
<b>5. TECNICAS DE BUSQUEDA.....</b>	<b>80</b>
5.1 BUSQUEDA Y SOLUCION DE PROBLEMAS .....	80
5.2 CLASIFICACION DE LOS SISTEMAS DE BUSQUEDA.....	81
5.2.1 SEGUN LA ESTRATEGIA CONTROL.....	83
1. DIRECCION DE LA BUSQUEDA .....	83
2. REGIMEN DE CONTROL.....	88
3. GRADO DE CONOCIMIENTO.....	93
4. OBJETIVO DE LA BUSQUEDA.....	97
5.2.2 SEGUN LOS ESPACIOS DE BUSQUEDA.....	100
1. BUSQUEDA EN ESPACIOS DE ESTADOS .....	100
2. REDUCCION DE PROBLEMAS .....	104
3. ARBOLES DE JUEGOS .....	105

<b>6.</b>	<b>AREAS DE LA IA .....</b>	<b>106</b>
6.1	PROCESAMIENTO DE LENGUAJE NATURAL.....	106
6.2	ROBOTICA.....	109
6.3	VISION ARTIFICIAL.....	112
6.4	JUEGOS.....	114
6.5	SISTEMAS BASADOS EN CONOCIMIENTO.....	117
<b>CAPITULO II: SISTEMAS EXPERTOS.....</b>		<b>120</b>
<b>1.</b>	<b>ORIGEN Y EVOLUCION DE LOS SE.....</b>	<b>121</b>
<b>2.</b>	<b>DEFINICION DE SISTEMAS EXPERTOS.....</b>	<b>128</b>
2.1	EXPERTO HUMANO .....	128
2.2	DEFINICION DE SISTEMA EXPERTO .....	128
2.3	CLASIFICACION DE LOS SISTEMAS EXPERTOS .....	130
2.4	CARACTERISTICAS DE LOS SISTEMAS EXPERTOS .....	130
2.5	ARQUITECTURA DE LOS SE .....	133
2.5.1	MOTOR DE INFERENCIA.....	135
2.5.2	BASE DE CONOCIMIENTOS.....	136
2.5.3	BASE DE HECHOS .....	136
2.5.4	MODULOS DE COMUNICACION .....	137
	MODULO DEL EXPERTO.....	138
	MODULO DEL USUARIO.....	138
2.6	TAREAS QUE REALIZAN LOS SE .....	139
<b>3.</b>	<b>CAMPOS DE APLICACION DE SE.....</b>	<b>144</b>
1.	AGRICULTURA .....	144
2.	EDUCACION.....	145
3.	ELECTRONICA, INFORMATICA Y TELECOMUNICACIONES .....	145
4.	FINANZAS Y GESTION.....	145
5.	INDUSTRIA.....	146
6.	MEDICINA.....	147
7.	MILITAR.....	148
8.	OTROS CAMPOS DE APLICACION .....	148
<b>4.</b>	<b>INGENIERIA DEL CONOCIMIENTO .....</b>	<b>149</b>
4.1	DEFINICION.....	149
4.2	ADQUISICION DEL CONOCIMIENTO.....	150
	FUENTES DE CONOCIMIENTO .....	150
	1. Fuente de conocimiento estática (fuente secundaria) .....	151
	2. Fuente de conocimiento dinámica (fuente primaria) .....	151
4.3	REPRESENTACION DEL CONOCIMIENTO .....	154
4.4	VALIDACION DEL CONOCIMIENTO.....	154
<b>5.</b>	<b>METODOLOGIAS DE DESARROLLO .....</b>	<b>157</b>
5.1	MODELO DE CICLO DE VIDA DE BUCHANAN.....	158
5.2	METODOLOGIA Y CICLO DE VIDA IDEAL .....	161
5.3	METODOLOGIA DE MANIPULACION DE CONOCIMIENTO .....	166
	METODO BGM .....	166
<b>6.</b>	<b>HERRAMIENTAS DE DESARROLLO DE SE.....</b>	<b>169</b>
6.1	LENGUAJES DE PROGRAMACION .....	170
6.1.1	LENGUAJES DE ALTO NIVEL (HLL).....	170
6.1.2	LENGUAJES SIMBOLICOS .....	170
	LISP (List Processing).....	171
	PROLOG (Programming in Logic).....	176
6.2	OTRAS HERRAMIENTAS DE DESARROLLO .....	181
6.2.1	ENTORNOS DE DESARROLLO (Environments).....	181
6.2.2	SHELLS .....	181
	CLIPS (C Language Integrated Production System).....	182
6.2.3	HERRAMIENTAS CBR (Case-Based Reasoning).....	189
	XPERTRULE KNOWLEDGE BUILDER .....	189

<b>PARTE II DESARROLLO DE UN SISTEMA EXPERTO.....</b>	<b>193</b>
<b>CAPITULO III: IDENTIFICACION .....</b>	<b>194</b>
<b>1. SELECCION DE DOMINIO DE APLICACION.....</b>	<b>195</b>
1.1 CRITERIOS DE SELECCION .....	196
1.2 SELECCION DE DOMINIOS DE APLICACION .....	198
1.3 EVALUACION Y SELECCION DE DOMINIO.....	199
<b>2. MARCO TEORICO DEL DOMINIO.....</b>	<b>200</b>
2.1 MEDICINA TROPICAL .....	200
2.1.1 ¿QUE ES MEDICINA TROPICAL?.....	200
2.1.2 UBICACION EN LAS CIENCIAS MEDICAS .....	200
2.2 ENFERMEDADES TROPICALES .....	202
2.1.1 ¿QUE SON LAS ENFERMEDADES TROPICALES?.....	202
2.1.2 CARACTERISTICAS .....	203
2.1.3 CLASIFICACION.....	203
2.3 ENFERMEDADES TROPICALES BASES DEL SE .....	206
<b>3. FORMULACION DEL PROBLEMA.....</b>	<b>207</b>
3.1 DIAGNOSTICO DE ENFERMEDADES TROPICALES .....	207
3.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	208
3.3 DEFINICION DEL PROBLEMA.....	209
3.4 DESCRIPCION DEL SISTEMA EXPERTO .....	210
3.5 EJEMPLO DE DIAGNOSTICO.....	212
<b>4. FACTIBILIDAD DEL DESARROLLO .....</b>	<b>214</b>
4.1 FACTIBILIDAD TECNICA .....	214
RECURSO TECNOLOGICO.....	214
RECURSO HUMANO .....	215
4.2 FACTIBILIDAD ECONOMICA.....	215
4.3 FACTIBILIDAD OPERATIVA.....	216
<b>CAPITULO IV: CONCEPTUALIZACION .....</b>	<b>217</b>
<b>1. ADQUISICION DEL CONOCIMIENTO .....</b>	<b>218</b>
1.1 CICLO DE CADA ENTREVISTA .....	218
1.2 TAREAS DEL PROCESO DE ADQUISICION.....	219
1.2.1 ADQUISICION E IDENTIFICACION INICIAL DEL CONOCIMIENTO .....	219
ENTREVISTA N° 1: Establecer compromiso con el experto médico .....	220
1.2.2 EXTRACCION ESTATICA DE CONOCIMIENTOS .....	221
1.2.3 EXTRACCION DE CONOCIMIENTOS DEL EXPERTO MEDICO .....	222
1. EXTRACCION DE CONOCIMIENTO INICIAL.....	222
ENTREVISTA N° 7: Diagnóstico de Leishmaniasis y Paludismo crónico.....	223
2. EXTRACCION DE CONOCIMIENTO PROFUNDO.....	230
ENTREVISTA N° 9: Verificación de diagnóstico diferencial .....	230
<b>2. ENUNCIACION DE CONCEPTOS .....</b>	<b>235</b>
2.1 GLOSARIO DE TERMINOS.....	235
2.2 DICCIONARIO DE CONCEPTOS.....	236
<b>3. PARAMETRIZACION .....</b>	<b>246</b>
3.1 TABLA CONCEPTO / ATRIBUTO / VALOR.....	246
<b>4. PLANTEAMIENTO DE CAUSALIDADES .....</b>	<b>249</b>
4.1 RELACION ENTRE CONCEPTOS .....	249
4.2 MODELO DE RAZONAMIENTO DEL EXPERTO .....	251
4.2.1 CONOCIMIENTO ESTRATEGICO .....	251
4.2.2 CONOCIMIENTOS TACTICOS .....	253
4.2.3 CONOCIMIENTOS FACTICOS .....	260
A. DEFINICION DE HECHOS GENERALES.....	260
B. DEFINICION DE HECHOS ESPECIFICOS (Estructura, atributo y valor) .....	261
<b>5. VERIFICACION.....</b>	<b>264</b>

<b>CAPITULO V: FORMALIZACION .....</b>	<b>266</b>
<b>1. FORMALIZACION DEL CONOCIMIENTO .....</b>	<b>267</b>
1.1 REPRESENTACION DEL CONOCIMIENTO .....	267
1.2 MODELO DE CONOCIMIENTO.....	268
1.2.1 MODELO DE CONOCIMIENTO DE PRIMER NIVEL.....	269
1.2.2 MODELO DE CONOCIMIENTO DE SEGUNDO NIVEL.....	270
<b>2. DISEÑO DE ARQUITECTURA DEL SE .....</b>	<b>289</b>
2.1 MOTOR DE INFERENCIA .....	291
2.1.1 CICLO BASICO DE EJECUCION.....	291
2.2 BASE DE CONOCIMIENTO.....	292
2.3 BASE DE HECHOS.....	293
2.3.1 BASE DE DATOS .....	294
2.4 INTERFAZ DE USUARIO.....	298
2.4.1 DISEÑO DE INTERFAZ EXTERNA.....	298
2.4.2 DISEÑO DE INTERFAZ INTERNA .....	299
2.4.3 INTERFAZ HOMBRE-MAQUINA.....	301
<b>CAPITULO VI: IMPLEMENTACION .....</b>	<b>310</b>
<b>1. ESTANDARES DE DESARROLLO.....</b>	<b>311</b>
1.1 ESTANDARES DE PROGRAMACION .....	311
1.2 ESTANDARES DE VARIABLES .....	312
1.3 ESTANDARES DE MODULOS .....	313
1.4 ESTANDARES DE REGLAS.....	314
1.5 ESTANDARES DE HECHOS.....	314
1.6 ESTANDARES DE NOMBRES DE ARCHIVOS.....	315
1.7 ESTANDARES DE PANTALLAS.....	315
<b>2. MOTOR DE INFERENCIA .....</b>	<b>318</b>
<b>3. BASE DE HECHOS .....</b>	<b>319</b>
<b>4. BASE DE CONOCIMIENTO .....</b>	<b>321</b>
<b>5. INTERFAZ DEL USUARIO .....</b>	<b>325</b>
<b>6. ANALISIS DE LA IMPLEMENTACION EN CLIPS.....</b>	<b>329</b>
<b>CAPITULO VII: VALIDACION .....</b>	<b>333</b>
<b>1. OBJETIVOS DE LA VALIDACION.....</b>	<b>334</b>
<b>2. CRITERIOS DE EVALUACION .....</b>	<b>334</b>
<b>3. IDENTIFICACION DE PRUEBAS.....</b>	<b>335</b>
<b>4. PRUEBA DE TURING.....</b>	<b>336</b>
4.1 METODOLOGIA.....	336
4.2 DETERMINACION DE LA MUESTRA.....	336
<b>5. ANALISIS DE LOS RESULTADOS.....</b>	<b>339</b>
ANALISIS DEL PROCESO DE ANAMNESIS Y EXAMEN FISICO.....	339
ANALISIS DE PROCESO DE FORMULACION DE HIPOTESIS.....	340
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>342</b>
<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>346</b>
<b>GLOSARIO .....</b>	<b>347</b>
<b>BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>356</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>366</b>
<b>ANEXO 1: MANUAL DE USUARIO SEDENTropic .....</b>	<b>367</b>

# INTRODUCCION

Este trabajo tuvo como objetivo fundamental desarrollar un sistema experto. Surgió como una necesidad de abordar áreas de la informática que tienen actualmente un gran impacto a nivel mundial en el desarrollo científico, tecnológico y humano; ya que en nuestro país se han realizado pocos esfuerzos para incorporar estas áreas a los programas de investigación y desarrollo de las instituciones encargadas de realizar estas actividades.

Previo a la construcción del sistema experto se realizó una investigación documental aplicada a la inteligencia artificial (IA). Esta investigación aborda de manera general el cuerpo teórico básico de la IA y sus áreas más relevantes, poniendo más énfasis en el estudio de los sistemas expertos (SE).

El resultado de la investigación se presenta en la primera parte de este documento, como un aporte teórico para futuras experiencias de desarrollo. Este aporte no está inscrito solamente en el marco de una investigación descriptiva, incluye además propuestas de tipo conceptual que surgen de la aplicación de una metodología reflexiva y crítica de investigación.

En la segunda parte del documento se presenta el proceso de desarrollo del sistema experto, que tiene como dominio de aplicación el campo de la medicina. El *sistema experto para el diagnóstico de enfermedades tropicales* (SEDTropic) utiliza un modelo aproximado de la estrategia de diagnóstico de enfermedades utilizada por el experto en enfermedades tropicales llamado diagnóstico diferencial.

La parte I, titulada **INVESTIGACIÓN PRELIMINAR**, consta de dos capítulos: **Inteligencia Artificial** y **Sistemas Expertos**.

En el CAPITULO I: INTELIGENCIA ARTIFICIAL, se presentan los orígenes y evolución de la IA. Se plantean conceptos básicos de la IA como: inteligencia, inteligencia artificial y sistemas inteligentes, tratando de presentar la mayor cantidad de enfoques desde los que se han desarrollado. Se presentan de manera general las técnicas de búsqueda y de representación del conocimiento. Para finalizar se presentan las áreas de la IA y sus características básicas.

El CAPITULO II: SISTEMAS EXPERTOS, se utiliza para profundizar en el estudio de los SE: su origen y evolución; conceptos básicos; características; arquitectura; tareas; y campos de aplicación. Posteriormente se describe la ingeniería del conocimiento, las metodologías y herramientas utilizadas para el desarrollo de SE.



En la parte II, titulada: **DESARROLLO DE UN SISTEMA EXPERTO**, se presenta el proceso de desarrollo del SEDENTropic. Los capítulos que se presentan en esta parte, corresponden a cada una de las fases de la metodología de desarrollo.

En el CAPITULO III: IDENTIFICACION, se muestra el proceso de **Selección del dominio**, que es el primer paso en el desarrollo del SE. Para identificar el dominio de aplicación se describe el *marco teórico, planteamiento del problema y factibilidad del desarrollo de desarrollo*.

En el CAPITULO IV: CONCEPTUALIZACION, se presenta el proceso de adquisición y modelado del conocimiento, que consta de cinco pasos: **Adquisición del conocimiento, Enunciación de conceptos, Parametrización de conceptos, Planteamiento de causalidades y Verificación**.

En el CAPITULO V: FORMALIZACION, se describe el *modelo de conocimiento*, expresado mediante la *técnica de representación del conocimiento* denominada **Redes semánticas**. Se muestra además el *diseño de la arquitectura del SE*, en la que se describe el funcionamiento y la estructura general del *motor de inferencia, la base de hechos, la base de conocimientos y la interfaz de usuario*.

En el CAPITULO VI: IMPLEMENTACION, se presenta el proceso de codificación del modelo de conocimiento en las herramientas de desarrollo seleccionadas: CLIPS y Visual Basic. La implementación de cada uno de los elementos del **SEDENTropic** se describe en forma separada en las secciones: *motor de inferencia, base de hechos, base de conocimientos y la interfaz de usuario*. Finalmente, se presenta un *breve análisis de la implementación*, comparando la programación en lenguaje simbólico y la programación tradicional.

En el CAPITULO VII: VALIDACION, se describe el proceso por medio del cual el sistema fue evaluado, a partir de los objetivos para los que fue creado. El capítulo está dividido en cinco secciones: *objetivos de la validación, criterios de evaluación, identificación de pruebas, prueba de Turing y análisis de los resultados*.

Para finalizar se presentan las *conclusiones, recomendaciones* y un *glosario de términos de la IA*, para facilitar el entendimiento a los lectores. En la sección de ANEXOS se presenta el *Manual de Usuario*, donde se detalla el funcionamiento y utilidad que ofrece el SEDENTropic.

Este documento esta acompañado de un CD complementario, que contiene los documentos generados en cada una de las cuatro etapas del desarrollo del proyecto, en donde se pueden encontrar los resultados completos de la investigación y desarrollo del SE; un glosario de términos médicos; la herramienta de desarrollo CLIPS; y el software del SEDENTropic.

# OBJETIVOS

## GENERAL

Realizar una investigación sobre los fundamentos teóricos de la *inteligencia artificial*, que sirva de base para el desarrollo de un *sistema experto*.

## ESPECIFICOS

- Recopilar la información necesaria para identificar y analizar los conocimientos básicos de la inteligencia artificial a nivel general.
- Identificar las técnicas, métodos y herramientas involucrados en el desarrollo de sistemas expertos.
- Utilizar el conocimiento adquirido durante la investigación, para desarrollar como experiencia práctica, un prototipo de sistema experto en un dominio específico.

## ALCANCES

- Proporcionar a la Universidad de El Salvador un material bibliográfico de inteligencia artificial, con un enfoque práctico.
- Incursión en una nueva metodología de desarrollo de sistemas informáticos.
- Aplicación de la ingeniería del conocimiento para la extracción y modelado de los conocimientos de un experto humano.
- Implementar los conocimientos de un experto dentro de un sistema que sirva de apoyo para resolver un problema o para la toma de decisiones relacionadas al campo de acción del experto.
- El sistema experto será desarrollado a nivel de prototipo, entendiendo por prototipo un sistema completamente funcional que trabaja en un ambiente experimental.

## JUSTIFICACION

La educación ha sido reconocida desde hace mucho tiempo, como una de las piedras angulares del bienestar económico, político y social, contribuyendo directamente al crecimiento de la economía, al comportamiento demográfico y a mejorar el bienestar. Esto es primordial, porque la educación imparte habilidades básicas cognoscitivas, desarrolla actitudes y valores necesarios para una mayor productividad y eficiencia de las personas dentro de la sociedad, y contribuye de forma directa a construir una nación.

La investigación aplicada y desarrollo experimental es parte importante de la educación. Un menor desarrollo experimental entraña un menor dinamismo en la incorporación de nuevos bienes y procesos productivos más modernos, lo que de alguna forma explica la posición en términos de competitividad tecnológica y económica internacional de un país.

A través de la observación y análisis de los indicadores de ciencia y tecnología en El Salvador, se puede visualizar un panorama de la situación en la que se encuentra la investigación y desarrollo en las diferentes áreas de aplicación y sectores que invierten en este tipo de actividad.

Según el CONACYT, el gasto en investigación y desarrollo es casi 10 % de las actividades científicas y tecnológicas del país y representa el 0.081 % del PIB. El gasto en investigación y desarrollo por habitante promedio para América Latina fue de 17 dólares en 1996 y para El Salvador en 1998 fue de 1.61 dólares. La investigación y desarrollo es financiado por el gobierno en un 51.93%, el extranjero y las ONGs contribuyen con un 33.76 %, la educación superior con un 13.15 % y las empresas con un 1.16 %. Además, la producción bibliográfica a nivel nacional esta orientada en un 89.90% a las *ciencias humanas y sociales*, y en un 10.10% a las *ciencias aplicadas* (naturales, matemática y tecnología).

El tipo de proyectos ejecutados por el sector universitario se concentran en investigación básica; investigación aplicada; y ensayos y pruebas (91.53%). La finalidad de los mismos es desarrollo social, salud y medio ambiente. Los proyectos son de corta duración (menos de un año 93.18%) y de fondos escasos (el 78.01% tuvieron un financiamiento abajo de 3,428.57 dólares por proyecto). El 97% de los proyectos fueron financiados con fondos propios.

De 27 publicaciones periódicas de revistas y boletines, 2 pertenecen al área de ingeniería y tecnología.

De acuerdo a estos valores, se aprecia la poca investigación y desarrollo experimental en el área de la ingeniería y tecnología y por lo tanto en el área de la informática y de computación. Una muestra de ello es que en la Escuela de Ingeniería de Sistemas Informáticos (EISI) solamente se encuentran 4 proyectos de investigación, en su mayoría orientados a la creación de software.

De acuerdo a la investigación preliminar, en la que se investigaron tres de las principales universidades del país en el área de la Informática, se han desarrollado 10 investigaciones y proyectos de aplicación en el área de la IA; dos de ellos en la carrera de ingeniería electrónica de la Universidad Don Bosco y uno en la carrera de ingeniería en ciencias de la computación. En la Universidad Centroamericana José Simeón Cañas se han realizado 5 proyectos en las carreras de licenciatura en ciencias de la computación y uno en la carrera de ingeniería industrial. En la Universidad de El Salvador solamente se cuenta con un proyecto aplicado a una de las áreas de la IA desarrollado por estudiantes de la carrera de ingeniería eléctrica.

Con este proyecto se pretende contribuir a incentivar la investigación en el área de sistemas informáticos y ofrecer una base bibliográfica que sirva de apoyo para futuras investigaciones y para la difusión de conocimientos en el campo de la IA en el ámbito universitario, sirviendo como una propuesta de creación de una asignatura (técnica electiva) para la carrera de Ingeniería de Sistemas Informáticos, dando una proyección de innovación tecnológica a la Universidad de El Salvador y en especial a la Escuela de Ingeniería de Sistemas Informáticos.

Dentro de la diversidad de aplicaciones de inteligencia artificial, se han elegido los SE para generar una experiencia práctica de la investigación, considerando que su desarrollo se apega más al enfoque de la carrera de Ingeniería de Sistemas Informáticos, y su creación sería de gran beneficio para empresas e investigadores en distintas disciplinas.

Entre las áreas de aplicación en que se han desarrollado sistemas expertos se encuentran: *medicina, agricultura, análisis de estados financieros, planificación financiera, industria, electrónica, informática, telecomunicaciones, militar, contabilidad, robótica, reconocimiento de patrones, y geología*. Siendo de gran utilidad al proveer conocimientos de un experto que pueden ayudar en la aplicación de dichas habilidades y conocimientos al diagnóstico y la solución de una amplia gama de complicados problemas profesionales y de gestión, incrementando así la capacidad del profesional experto en su área.

# IMPORTANCIA

El área de la Inteligencia Artificial tiene muchos años de ser una alternativa de solución para problemas complejos en muchos sectores de la sociedad.

La importancia de la realización del proyecto desde el punto de vista académico es la necesidad de información sobre Inteligencia Artificial en El Salvador y especialmente en la Universidad de El Salvador. El beneficio directo del material bibliográfico, se observa a través de los estudiantes que lo utilizarán para investigaciones futuras sobre IA. Los alumnos que se favorecerán son los pertenecientes a carreras afines a las ciencias de la computación (Ingeniería de Sistemas Informáticos, Ingeniería Eléctrica y Licenciatura en Estadística y Computación).

Por otra parte, la sección orientada a los sistemas expertos, que será presentada en la bibliografía, podrá servir como una herramienta de desarrollo de este tipo de sistemas de información, ya que se definieron una serie de metodologías de ciclos de vida. También se hará énfasis en conceptos indispensables como la ingeniería del conocimiento, que facilitarían a desarrolladores y estudiantes las tareas de diseño y construcción de SE. La investigación sobre la aplicación de los SE será un indicador para conocer los alcances de este tipo de sistemas en la vida cotidiana y los beneficios que pueden aportar a la sociedad.

Desde el punto de vista práctico, el desarrollo del sistema experto sería una guía de la aplicación de los conceptos especificados en la bibliografía. Beneficiaría a estudiantes ya que se podrá visualizar la aplicación de un ciclo de vida de un SE, permitiendo aún más su comprensión.

El proceso de adquisición y modelado de conocimientos de un experto humano a través de la ingeniería del conocimiento es un ejercicio que reviste gran importancia. De esto depende la validez del SE. La especialización obtenida será beneficiosa si es aplicada para la solución de problemas de índole científico en sectores de la vida cotidiana.

Debido a que se desarrolló un SE con proyección social, los beneficios ya sean directos o indirectos serán notables en la población salvadoreña.

Además el proyecto sienta las bases de documentación y experiencia para la creación de asignaturas relacionadas al tema de IA. Además de incentivar la investigación en nuevas áreas del conocimiento.

---

---

# **PARTE I**

# **INVESTIGACION PRELIMINAR**

---

## **CONTENIDO:**

CAPITULO I: INVESTIGACION DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL

CAPITULO II: INVESTIGACION DE SISTEMAS EXPERTOS

---

---

---

## **CAPITULO I: INTELIGENCIA ARTIFICIAL**

---



# 1. ORIGEN Y EVOLUCION DE LA IA

El origen de la Inteligencia Artificial tiene dos corrientes principales: aquellos que consideran que se inició a partir de las ideas sobre artefactos que imitaran el comportamiento humano, y los que sostienen que dio inicio en la conferencia de Dartmouth donde se acuñó el término.

A continuación se presenta la historia de la IA considerando antecedentes conceptuales del término en la sección de Fundamentos. Como una modificación a la división cronológica propuesta por Russell y Norving<sup>1</sup>, se proponen las siguientes etapas de la historia de la IA: *génesis, primeros pasos, invierno, resurgimiento, industrialización y últimos acontecimientos*.

## Fundamentos

En los orígenes de la IA se encuentran diferentes puntos de vista. Algunos autores vinculan el surgimiento de la IA con el origen de las computadoras principalmente en la segunda mitad del siglo XX.

El profesor Buchanan<sup>2</sup>, miembro de la Asociación Americana de Inteligencia Artificial (AAAI, por sus siglas en inglés) propone una cronología de eventos importantes. Asocia raíces intelectuales y conceptos de la IA con la historia antigua y se remonta inicialmente a la mitología griega, donde a través de literatura de Hephaestus y Pygmalion se mencionan artefactos inteligentes como juguetes con mecanismos reales o ficticios que imitaban a seres humanos.

Luego en el siglo V a.c. Aristóteles postula el primer sistema de razonamiento deductivo la “Lógica Silogista”. En un salto abrupto en el tiempo, se dirigen hacia el siglo XV y XVI d.c., donde fue creada la imprenta, la “Biblia de Gutenberg”, los relojes y otros instrumentos de medición.

En el siglo XVII Descartes propone que “los animales no son más que máquinas complejas”. Hobbes publica el “Leviatán” que contiene teorías combinatorias de pensamiento. Pascal diseña la primera “Máquina de cálculo mecánica digital” y Leibniz se encarga de mejorarla agregando funciones de multiplicación y división, y visualiza un universo de cálculos de razonamiento por los cuales los argumentos pueden ser decididos mecánicamente.

---

<sup>1</sup> RUSSEL y Norving, INTELIGENCIA ARTIFICIAL: UN ENFOQUE MODERNO. 1996, págs. 17-27.

<sup>2</sup> BUCHANAN, Prof. Bruce. HISTORY OF AI, <http://www.aaai.org/Pathfinder/bbhist.html#intro>

En el siglo XIX se mencionan el desarrollo del **álgebra binaria** para representar algunas *leyes del pensamiento*, y el trabajo de Charles Babbage y Ada Byron en máquinas de cálculo programables mecánicas.

Estos aportes son considerados como raíces de la IA, ya que son ideas estructuradas y documentadas sobre la intención de crear máquinas inteligentes (que imitaran el comportamiento humano).

Russell y Norving<sup>3</sup>, organizan los fundamentos de la IA en ramas de las ciencias que han sido pilares para los conceptos y teorías de la IA y los dividen de la siguiente forma:<sup>4</sup> *filosofía, matemáticas, psicología, computación y lingüística*.

### **Génesis (Creativo) 1943 - 1956**

En 1943 Warren McCulloch y Walter Pitts publicaron el artículo "A Logical Calculus of the Ideas Immanent in Nervous Activity" (Cálculo Lógico de Ideas Inmanentes en Actividades Nerviosas), estableciendo las bases para los modelos de redes neuronales. Se trataba de entender como el cerebro produce patrones muy complejos utilizando células básicas que se conectan unas con otras, y se propone un modelo de neurona (llamado MCP Neuron) que luego sería de mucha utilidad para las ciencias de la computación.

Arturo Rosenblueth, Norbert Wiener y Julian Bigelow acuñan el término "cibernética", en un artículo que trataba sobre el estudio de "el control y la comunicación en los animales y las máquinas". Tal publicación constituye una de las raíces de las ciencias cognoscitivas actuales. Wiener lanzó un libro muy popular con ese nombre en 1948.

En 1950 Allan Turing publicó el artículo "Computing Machinery and Intelligence" (Máquinas de Cómputo e Inteligencia), y se desarrolla la "Prueba de Turing" (descrita en la sección *Conceptualización*, de este CAPÍTULO) como forma de mecanizar una prueba para el comportamiento inteligente. De esta forma se podía determinar la presencia de inteligencia en humanos, animales y máquinas.

---

<sup>3</sup> RUSSEL y Norving, INTELIGENCIA ARTIFICIAL: UN ENFOQUE MODERNO. 1996, (págs. 9-16)

<sup>4</sup> Los resultados de los fundamentos de la IA, pueden observarse en archivo en *CD-ROM. ETAPA I, ANEXO 1*.

También en el año 1950 Claude Shannon publica en su artículo "Programming a computer for playing chess" (Programando una computadora para jugar ajedrez), un análisis detallado del juego de ajedrez como búsqueda. Isaac Asimov publica las tres reglas de la robótica en su libro Robot.

Según la AAAI<sup>5</sup>, la historia moderna de la IA comienza en el año de 1956 con la conferencia de Dartmouth en la cual se reúnen los principales científicos involucrados con el tema, como: J. McCarthy del Dartmouth College, M. L. Minsky de la Universidad de Harvard, N. Rochester de la Corporación IBM, y C. E. Shannon de los Laboratorios Bell Telephone.

Según la propuesta<sup>6</sup>, la conferencia sería solamente un intercambio de ideas. Aunque en realidad el mayor logro fue la creación del término "Inteligencia Artificial" propuesto por McCarthy y el nacimiento oficial de la disciplina.

En este mismo año se dio la presentación de la ejecución del primer programa en IA llamado "Logic Theorist" (Teórico Lógico), creado por Allen Newel, J. C. Shaw y Herbert Simon de la Universidad de Carnegie Mellon. Este programa de razonamiento era capaz de realizar demostraciones de teoremas matemáticos.

## **Primeros pasos (Optimismo) 1956 -1967**

Newel y Simon fueron los responsables del desarrollo del General Problem Solver (Solucionador General de Problemas) en 1957, que se diseñó para que imitara protocolos de razonamiento humanos.

Entre 1952 y 1962 Arthur Samuel desarrolló el primer programa para juegos de damas, que logró obtener suficiente pericia como para desafiar al campeón mundial, sus programas con aprendizaje de máquina fueron responsables del incremento en el rendimiento de los jugadores de damas.

En 1958 John McCarthy inventó el lenguaje de programación LISP<sup>7</sup>, concebido para inteligencia artificial y con un enfoque diferente al que ahora conocemos. Se trataba de un lenguaje para que los humanos pudieran describir sus procedimientos a las máquinas, y cumplía con las siguientes

---

<sup>5</sup> BUCHANAN, Prof. Bruce. HISTORY OF AI, <http://www.aaai.org/Pathfinder/bbhist.html#modern>.

<sup>6</sup> MCCARTHY, John. A PROPOSAL FOR THE DARTMOUTH SUMMER RESEARCH PROJECT ON ARTIFICIAL INTELLIGENCE, <http://www-formal.stanford.edu/jmc/history/dartmouth/dartmouth.html>.

<sup>7</sup> MCCARTHY, John. LISP LANGUAGE, <http://www.aaai.org/Pathfinder/html/sys.html>.

características: explícito (sin ambigüedades en los procedimientos), universal (cada procedimiento debería ser describible) y conciso.

También en 1958 Rosenblatt introduce el PERCEPTRON para el reconocimiento de patrones que era capaz de generalizarlos. En el mismo año se realizó la conferencia de Teddintong sobre la *mecanización de los procesos de pensamiento*, y entre los documentos presentados se encontraban: “Programas con sentido común” de John McCarthy, “Pandemonium” de Oliver Selfridge y “Algunos métodos de programación heurística e inteligencia artificial” de Marvin Minsky.

En 1960 Widrow y Hoff<sup>8</sup> formulan una variante para el PERCEPTRON llamada ADALINE (Adaptative Linear Elements), que fue la primera red neuronal aplicada a un problema real (filtros adaptativos para evitar ecos en las líneas telefónicas). Tanto ADALINE como su extensión MADALINE (desarrollada en 1962) fueron comercializadas durante muchos años.

En 1961, James Slagle escribió en LISP el primer programa de integración simbólica llamado SAINT, que resolvía problemas de cálculo. En 1962, fue fundada Unimation la primera compañía para desarrollo de robots industriales.

En 1963, Edward A. Feigenbaum y Julian Feldman publican el libro “Computers and Thought” (Computadoras y Pensamiento), la primera colección de artículos sobre IA que mostraba el trabajo de los científicos responsables de haberla definido y de sentar las bases para su desarrollo.

En 1965 J. A. Robinson inventó un procedimiento mecánico de prueba: *el método de resolución*, que permitía a los programas trabajar eficientemente con lógica formal como representación del lenguaje.

En ese mismo año Joseph Weizenbaum construyó ELIZA un programa interactivo que conduce un diálogo de cualquier tema en inglés. Fue muy popular en arpa net cuando fue programada una versión que simulaba el dialogo con un psicoterapeuta.

En 1966 se desarrollo el primer “Machine Intelligence Workshop” (Taller sobre Máquinas Inteligentes) en Edinburch organizado por Donald Michie, consolidándose como el primer taller sobre IA a nivel internacional. Estos talleres todavía se realizan anualmente.

---

<sup>8</sup> GUERRERO y López. INTELIGENCIA ARTIFICIAL Y DOCUMENTACIÓN, págs. 65-70

En 1969, Edward Feigenbaum, Joshua Lederberg y Bruce Buchanan de la Universidad de Stanford desarrollaron el programa DENDRAL para interpretar espectros de masa orgánicos en compuestos químicos, este fue considerado el primer sistema basado en conocimiento para razonamiento científico que fue exitoso. En ese mismo año, Joel Moses demostró el poder del razonamiento simbólico para integración de problemas con el programa MACSYMA, el primer sistema basado en conocimiento para matemáticas que tuvo gran aceptación.

### **Invierno (Pesimismo) 1966-1974**

En un inicio se pensó que las técnicas que demostraron funcionar para problemas sencillos (con pocos objetos y pocas manipulaciones), serían aplicables a problemas reales al aumentar la capacidad de computo. Al darse cuenta de la explosión combinatoria que se recibía al aplicar las técnicas a problemas reales, los investigadores notaron que los métodos serían muy débiles, incluso con el aumento en la capacidad de cálculo y velocidad de cómputo<sup>9</sup>.

Entre los años de 1960 a 1965 se desarrollaron las teorías de la *Complejidad* (Reducción) y de la *Intratabilidad e incalculabilidad*, que propiciaron en este periodo el decaimiento de la IA, especialmente para trabajos con redes neuronales, debido a las limitaciones en los problemas “de juguete” por su relativa sencillez.

En 1967, un reporte negativo sobre la traducción automática destruyó mucho trabajo realizado hasta la fecha en procesamiento de lenguaje natural, y lo relegó a un segundo plano por muchos años.

Además Minsky y Papert en 1969 en su publicación *Perceptrons*, identificaron las limitaciones que se tenían en las estructuras utilizadas en los modelos de redes neuronales. Esto originó una reducción de presupuesto para este rubro.

---

<sup>9</sup> GUERRERO y López. INTELIGENCIA ARTIFICIAL Y DOCUMENTACIÓN, págs. 65-95

## **Resurgimiento (Realismo) 1971 -1979**

En 1971, Terry Winograd demostró la habilidad de las computadoras para entender instrucciones en inglés en el mundo restringido de los bloques para niños, agregando a su programa de interpretación de lenguaje llamado SHRDLU un brazo mecánico que llevaba a cabo instrucciones escritas.

En 1972, Alain Colmerauer creó el lenguaje de programación PROLOG, desarrollado como un verificador especializado de teoremas para implementar sistemas de procesamiento natural<sup>10</sup>.

En 1974 fueron desarrollados dos sistemas muy importantes: MYCIN Y ABSTRIPS. MYCIN era un sistema basado en reglas para representación del conocimiento e inferencia para el diagnóstico médico y terapia, tenía como respaldo 450 reglas capaces de emitir un diagnóstico muy similar al de un experto. ABSTRIPS fue el primer programa para planificación, desarrollando técnicas de planeamiento jerárquico. Estos sistemas fueron considerados los primeros sistemas expertos para un dominio específico.

En 1978, fue desarrollado en Staford por Mark Stefik y Peter Friedland el programa MOLGEN<sup>11</sup>, demostraba que una representación de conocimiento orientada a objetos podía ser utilizada para planear experimentos de clonación de genes. Estaba basado en planeación con restricciones, en las que las decisiones de planeación son hechas independientemente del dominio de la decisión. También hay decisiones de laboratorio dependientes del dominio. Las restricciones del problema son la interacción de pasos separados de decisiones de laboratorio.

En 1979 fueron desarrollados otros sistemas basados en conocimiento muy reconocidos como EMYCIN, una ampliación del MYCIN que permitió establecer el modelo de muchos “shells” para SE comerciales.

## **Industrialización (Prototipos) 1979- 1988**

A partir de finales de la década de los setentas y principios de los ochentas, comenzó la popularización de los sistemas expertos para uso comercial. Esta popularización inició con el sistema R1 desarrollado para la empresa Digital Equipment Corporation.

---

<sup>10</sup> COLMERAUER, Alain. PROLOG, <http://www.aaai.org/Pathfinder/html/sys.html>

<sup>11</sup> AAAI, MOLGEN, <http://www.aaai.org/Pathfinder/html/faqs.html#bhist35>

También para 1980 fueron desarrolladas y comercializadas máquinas LISP, que eran equipos de cómputo optimizados para utilizar eficientemente el lenguaje LISP. Se contaba con fabricantes de prestigio para su comercialización, entre ellos XEROX y Texas Instruments.

En 1981 científicos japoneses anunciaron su proyecto de “quinta generación”, un plan de 10 años para construir computadoras inteligentes que ejecutasen PROLOG, de la misma manera que una computadora normal interpretaba el código de máquina.

En ese mismo año Danny Hills diseñó la máquina conectiva con una arquitectura paralela. Este equipo sirvió para potenciar el desarrollo de aplicaciones de IA y la computación en general.

En 1985 el programa autónomo de dibujo implementado en un robot llamado Aaron<sup>12</sup>, diseñado por Harold Cohen. Aaron fue el primer robot en la historia que creaba cuadros (pinturas) y dibujaba confiando en su propio conocimiento, usando una estructura ramificada de reglas y vías de retroalimentación que le decían como proceder. Realizaba la tarea con una consistencia estilística similar a la de un artista humano. Representó un gran avance en las aplicaciones de reconocimiento de patrones y visión artificial.

En 1988 la empresa Dupont ya utilizaba 100 sistemas expertos y mantenía en diseño otros 500, lo que le generaba ahorros de \$10 millones anuales.

En 1989 se crea ALVINN<sup>13</sup> (un vehículo de campo autónomo en una red neuronal), que era un sistema de percepción que aprendía el control de vehículos NAVLAB observando a una persona manejar. ALVINN se convirtió en la base para un sistema de manejo de vehículos llamado RALPH (Rapidly Adapting Lateral Position Handler), que en 1995 logró viajar desde Pittsburg hasta Indianápolis completando 2,849 millas en lo que se llamó “No hands across America” (Sin manos a través de América). Fue considerado un gran aporte para el uso de redes neuronales en el control de robots.

En los años 80 resurge el interés por las redes neuronales y se presentan nuevas aportaciones a la teoría y diseño de éstas desde diferentes frentes. En 1982, se celebró la US/Japan Joint Conference on Cooperative/Competitive Neural Networks (Conferencia Cooperativa/Competitiva de Redes Neuronales de EE.UU. y Japón). Ese mismo año Fujitsu comenzó el desarrollo de computadoras pensantes para hacer aplicaciones en robótica.

---

<sup>12</sup> AAI, <http://www.aaai.org/Pathfinder/html/art.html>

<sup>13</sup> AAI, <http://www.aaai.org/Pathfinder/html/autveh.html#bhist20>

## Ultimos acontecimientos (Madurez) 1988 en adelante

En este periodo se han dado grandes avances en todas las ramas de la IA, esto debido al incremento en la capacidad de los dispositivos, y que mayor cantidad de científicos están desarrollando este tipo de aplicaciones. En 1990 se hicieron avances significativos en la construcción de un robot humanoide, a cargo de Rod Brooks del proyecto COG<sup>14</sup> del Massachusetts Institute Technologies (MIT), contaba con un conjunto de sensores y actuadores (actors en inglés) que se tratan de aproximar a la sensibilidad y dinámica motora del cuerpo humano.

En 1997, el programa de ajedrez Deep Blue vence al campeón de ajedrez del momento Garry Kasparov. Deep Blue estaba implementado en un sistema de computación con una tecnología RS/6000 SP, que también puede realizar tareas relacionadas a problemas complejos como: predicción del clima, modelar datos financieros y diseñar vehículos, entre otras.

En ese mismo año se realizó la primera Robocup oficial, evento de fútbol para robots con 40 equipos y más de 500 espectadores. También se realizó la demostración de una *habitación inteligente y agentes emocionales* en el laboratorio de IA del MIT. Se inició con la arquitectura Oxygen que conecta el mobiliario y las computadoras estacionarias en una red adaptativa.

En 2000 los robots mascotas interactivas estuvieron disponibles a nivel comercial, acercando a la población mundial a las aplicaciones de la IA. Actualmente, la tendencia de la IA es la de los *agentes inteligentes*. Un agente inteligente es capaz de realizar acciones autónomas flexibles para alcanzar sus objetivos. Algunos autores<sup>15</sup> clasifican a los agentes inteligentes de acuerdo a su función, y éstos pueden pertenecer a más de una de las siguientes categorías: agentes colaborativos, de interfaz, móviles, de información, reactivos e híbridos.

Sin embargo parte de la autonomía de estos agentes radica en la capacidad de aprendizaje. Actualmente, los científicos están profundizando en el área de aprendizaje automático y una definición es la siguiente: “decimos que un agente o un programa de computación aprende de la experiencia, con respecto a cierta clase de tareas con la medida de desempeño, si su desempeño en la tarea medida, mejora con respecto a la experiencia”. Algunas de las herramientas para desarrollar algoritmos de aprendizaje automático son: MLC++, WEKA y otros<sup>16</sup>.

---

<sup>14</sup> AAAI, ROBOTS, <http://www.aaai.org/Pathfinder/html/robots.html>

<sup>15</sup> AGENTES INTELIGENTES, <http://uoc.terra.es/art/uoc/vicente0302/fc/mvicentelp12.html>

<sup>16</sup> FERNÁNDEZ, Rodríguez y Quevedo. ML-Lab: HERRAMIENTA DE EXPERIMENTACIÓN FLEXIBLE PARA APRENDIZAJE AUTOMÁTICO, [ftp://ftp.aic.uniovi.es/publications/Machine\\_Learning/pdf/ml-lab.pdf](ftp://ftp.aic.uniovi.es/publications/Machine_Learning/pdf/ml-lab.pdf)



### Esquema de la evolución de la Inteligencia Artificial

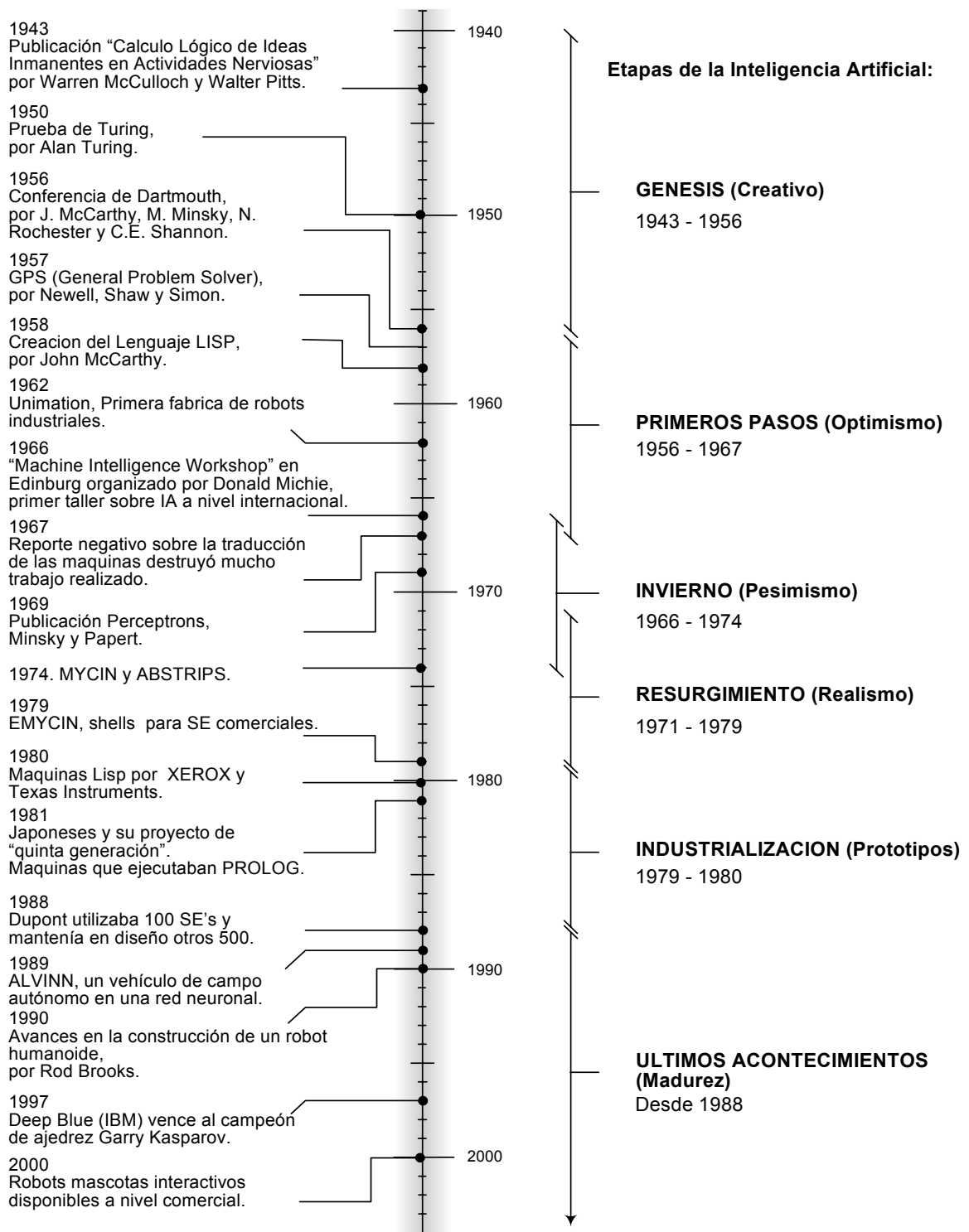


Figura 1.1.1. Etapas y acontecimientos relevantes de la evolución de la IA.

## 2. CONCEPTUALIZACION

### 2.1 INTELIGENCIA

Para definir el concepto de IA es importante definir previamente el concepto de Inteligencia. Esta ha sido una tarea que ha ocupado y continua ocupando a muchas ciencias.

Según el diccionario Latino-Español, el término inteligencia se deriva del latín *intelligentia*, que hace referencia a la *“facultad por medio de la cual [...] se conoce las cosas que existen”*. El diccionario de la Real Academia Española la define de varias formas:

- Capacidad de comprender o entender.
- Capacidad de resolver problemas.
- Conocimiento, comprensión, acto de entender.
- Habilidad, destreza y experiencia.

Los significados anteriores varían entre facultades cognoscitivas, de razonamiento, percepción y aprendizaje.

Se buscará una definición que describa de una forma más amplia el concepto, acudiendo a la psicología. Según esta disciplina científica la inteligencia se define como la capacidad para realizar juicios apropiados, aprovechar las experiencias y afrontar adecuadamente nuevos problemas.

Sobre la base de lo anterior, se define la IA como:

**La capacidad que exhiben los artefactos creados por el hombre para aprender, razonar y adaptarse de manera eficiente.**

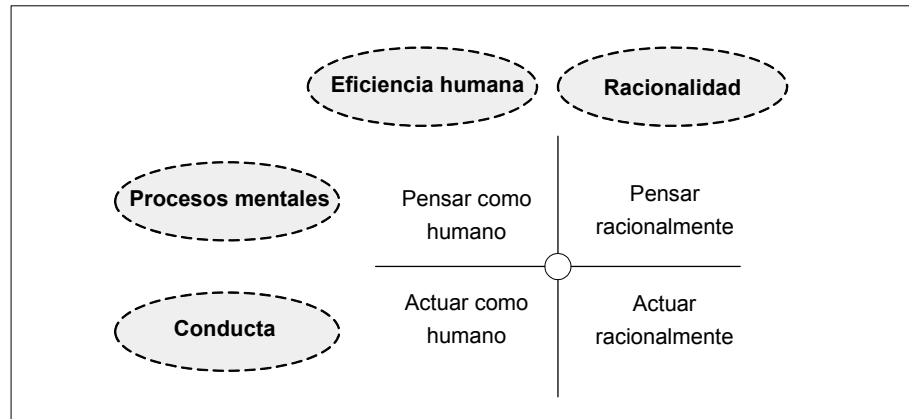
## 2.2 INTELIGENCIA ARTIFICIAL

El concepto de inteligencia descrito anteriormente da una idea general de la IA, sin embargo no describe su carácter de disciplina científica. Para completar la definición se acudirán a conceptos propuestos por algunos autores agrupados en el cuadro 1.2.1.

Cuadro 1.2.1. Diferentes definiciones de la IA.

AUTOR	AÑO	DEFINICION
Bellman	1978	[La automatización de] <u>actividades que vinculamos con procesos de pensamiento humano</u> , actividades tales como toma de decisiones, resolución de problemas, aprendizaje...
Haugeland	1985	La interesante tarea de lograr que las computadoras piensen... <u>máquinas con mente</u> , en su amplio sentido literal.
Charniak y McDermott	1985	El estudio de las <u>facultades mentales</u> mediante el uso de modelos computacionales.
Minsky	1986	IA es el arte de construir máquinas <u>capaces de hacer cosas</u> que requieran inteligencia en caso de que fuesen <u>hechas por los seres humanos</u> .
Amat	1989	La parte de la informática que trata de los sistemas computarizados inteligentes, es decir, sistemas que <u>muestran las características</u> que pueden asociarse a la inteligencia en lo que se refiere al <u>comportamiento humano</u> : comprensión de lenguaje, aprendizaje, resolución de problemas, etc.
Kurzweil	1990	El arte de crear máquinas con <u>capacidad de realizar funciones que</u> realizadas por personas <u>requieren de inteligencia</u> .
Shallkoff	1990	Un campo de estudio que se enfoca a la <u>explicación y emulación de la conducta inteligente</u> en función de procesos computacionales.
Shapiro	1992	Es un campo de la ciencia y de la ingeniería que se ocupa de la comprensión a través de la computadora de lo que comúnmente llamamos <u>comportamiento inteligente</u> y de la creación de herramientas que exhiben tal comportamiento.
Winston	1992	El estudio de los cálculos que <u>permiten percibir, razonar y actuar</u> .
Luger y Stubblefield	1993	La rama de la ciencia de la computación que se ocupa de la automatización de la <u>conducta inteligente</u> .
Rich y Knight	1994	La IA estudia como lograr que las máquinas <u>realicen tareas</u> , que, por el momento son <u>realizadas mejor por seres humanos</u> .
Costa	1995	El ofrecimiento por parte de la máquina de un <u>comportamiento parecido al humano</u> que es capaz de acomodarse o ajustarse a una disposición o situación real o ficticia y poder escoger de acuerdo a una serie de particularidades para dar respuesta rápida y lo más acertada posible.

Rusell y Norving (1996) agrupan estos conceptos en cuatro enfoques:



*Figura 1.2.1. Enfoques de Inteligencia Artificial.*

---

## ACTUAR COMO HUMANO

Este enfoque está asociado a la **prueba de Turing** desarrollada por Alan Turing en 1950. Turing intentó hacer una medición satisfactoria de inteligencia. Definió una conducta inteligente como la capacidad de lograr eficiencia a nivel humano en todas las actividades de tipo cognoscitivo, suficiente para engañar a un evaluador (Ver figura 1.2.2).

La prueba consistía en que un humano interrogase a una computadora y a un humano a través de un teletipo. El sistema pasaba la prueba si el evaluador era incapaz de determinar quien había contestado las preguntas en el otro extremo de la terminal. Esta prueba supone que la computadora debería ser capaz de:

- **Procesar un lenguaje natural**, para poder establecer comunicación satisfactoria en cualquier idioma humano.
- **Representar el conocimiento**, para guardar toda la información que se le haya dado antes o durante el interrogatorio.
- **Razonar automáticamente**, con el fin de utilizar la información guardada al responder preguntas y obtener nuevas conclusiones.
- **Autoaprendizaje de la máquina**, para que se adapte a nuevas circunstancias y para detectar y extrapolar esquemas determinados.

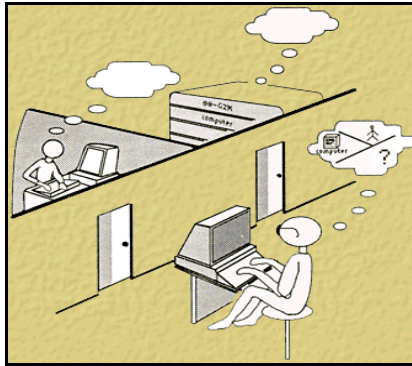


Figura 1.2.2. Prueba de Turing<sup>17</sup>

---

Turing evitó deliberadamente la interacción física directa entre el evaluador y la computadora, dado que para medir la inteligencia era necesario simular *físicamente* a un humano. Sin embargo, en la denominada **prueba total de Turing** se utilizan una señal de video para que el evaluador pueda calificar la capacidad de percepción del evaluado, y también para que aquél pueda pasar objetos físicos. Para aprobar la prueba total de Turing, es necesario que la computadora esté dotada, además de las capacidades anteriores de:

- **Vista**, que le permita percibir objetos, y
- **Robótica**, para desplazar dichos objetos.

En la sección “*Areas de la IA*” se abordarán de forma general algunas de estas capacidades, que en la actualidad conforman áreas de la IA.

## PENSAR COMO HUMANO

Este enfoque se centra en las capacidades cognoscitivas y tiene su mayor influencia en la **ciencia cognoscitiva**. Uno de los problemas que se desprenden de este enfoque es la dificultad de contestar a la pregunta *¿Cómo piensan los humanos?*. Respuesta indispensable para poder intentar emular artificialmente ese proceso. Habría que penetrar en el funcionamiento de la mente humana para contestar a esta pregunta. Una forma de hacer esto es la introspección (observando los fenómenos psíquicos internos, es decir; intentar atrapar nuestros propios pensamientos conforme estos se van dando). La otra forma es la realización de experimentos psicológicos (estímulo-reacción).

---

<sup>17</sup> VON Der Becke, Carlos. EL TEST DE TURING, <http://web1.cti.unav.es/asignaturas/ia/tsld013.htm>

Ambas formas presentan grandes limitaciones. Mientras no se superen estas limitaciones para poder desarrollar una teoría bastante precisa de la mente no será posible implementarla en un programa de computadora.

Una de las críticas más importantes a los dos enfoques anteriores es que *actuar* o *pensar* como humano no siempre implica hacerlo de la manera correcta. Los humanos se ven influenciados por las emociones<sup>18</sup> a la hora de tomar decisiones o emprender actos, lo que puede provocar pensamientos o actos que estén lejos de lo que se considera inteligente. Además las capacidades fisiológicas de los humanos varían de uno a otro.

## PENSAR RACIONALMENTE

Para desarrollar este enfoque se define "*pensar racionalmente*" como el uso de las propiedades intelectuales para juzgar, tomar decisiones, realizar inferencias, extraer conclusiones o formarse una opinión, de una manera correcta.

Este enfoque se centra en las leyes del pensamiento, construidas desde hace muchos años por la filosofía. Aristóteles fue uno de los primeros en intentar codificar la "manera correcta de pensar". Sus **silogismos** son esquemas de estructuras de argumentación mediante la que siempre se llega a conclusiones correctas si se parte de premisas correctas. Por ejemplo: "Sócrates es un hombre; todos los hombres son mortales; por lo tanto, Sócrates es mortal".

Los silogismos de Aristóteles permitieron el surgimiento de la **lógica formal**, como ciencia que estudia los actos del pensar –concepto, juicio, razonamiento, demostración- desde el punto de vista de su estructura formal o forma lógica<sup>19</sup>; que permitió contar con una notación precisa para representar aseveraciones relacionadas con todo lo que existe en el mundo, así como sus relaciones mutuas. Posteriormente la lógica fue tomando nuevas formas y aparecieron la **lógica matemática**, **lógica probabilística**, entre otras, que han tenido una gran influencia en las ciencias de la computación.

Uno de los obstáculos que presenta este enfoque es que es difícil recibir un conocimiento informal y expresarlo en los términos formales que exige la notación lógica, especialmente cuando este no está estructurado; es decir; cuando no se tiene un 100% de certidumbre. Además es imposible

---

<sup>18</sup> En psicología la emoción se entiende como un estado afectivo que se caracteriza por aparecer de forma brusca, ser intenso, depender de los centros di-encefálicos e implicar manifestaciones vegetativas con repercusiones glandulares, musculares y viscerales.

<sup>19</sup> M.M. Rosental y P.F. Iudin, DICCIONARIO DE FILOSOFÍA, pág. 279.

implementar en una computadora problemas que involucran demasiados elementos, a menos que se cuente con lineamientos sobre los pasos de razonamiento que hay que utilizar primero.

## **ACTUAR RACIONALMENTE**

Este enfoque también está basado en las leyes del pensamiento. Se retomará lo planteado por Russell y Norving; quienes simplifican el actuar racionalmente (o actuar inteligentemente) a: Actuar de manera tal que se logren los objetivos deseados, con base a ciertos supuestos.<sup>20</sup>

Un sistema inteligente que estuviera determinado por el enfoque de pensar racionalmente estará construido para hacer inferencias correctas. No obstante, el efectuar una inferencia correcta no siempre depende de la *racionalidad*, pues existen situaciones en las que no existe algo que se pueda considerar como lo correcto, y sin embargo hay que decidirse por un curso de acción. Existen también maneras de actuar racionalmente que de ninguna manera entrañan inferencia alguna. Por ejemplo, el retirar la mano de una hornilla caliente es un acto, reflejo mucho más eficiente que una tardía actuación emprendida después de una cuidadosa deliberación. (Russell y Norving, *et al*, 1996)

Este enfoque trata de consolidar el enfoque basado en las leyes del pensamiento y el basado en las capacidades cognoscitivas. Se adoptará el enfoque de “actuar racionalmente” como el más descriptivo de la IA.

En la sección de *Sistemas inteligentes* se profundizará en este enfoque. Antes de ello conviene definir un concepto más concreto de IA.

Como lo señala Morales (1999) el término IA conlleva dos aspectos:

- Entender y modelar “sistemas inteligentes” (ciencia).
- Construir máquinas “inteligentes” (ingeniería).

Se define IA como:

**Rama de las ciencias de la computación que se ocupa del estudio y modelado de las capacidades de aprendizaje, razonamiento y adaptación, para la construcción de sistemas que exhiban estas capacidades.**

---

<sup>20</sup> RUSSELL y Norving llaman a este enfoque: El enfoque del agente racional. Definen un agente como algo capaz de percibir y actuar. En este documento caso se utilizará el término sistema inteligente, ya que se adapta mejor a los objetivos de la investigación.

## 3. SISTEMAS INTELIGENTES

Como se ha señalado anteriormente, la conducta inteligente debe exhibir tres características: *aprendizaje, razonamiento y adaptación*. No obstante, deben tomarse en cuenta dos elementos adicionales a la hora de diseñar sistemas inteligentes: *la ontología general del sistema y el medio ambiente en el que operará*.

### 3.1 ONTOLOGIA GENERAL

La palabra *ontología* tiene un origen filosófico, significa: *teoría particular del ser o de la existencia*, y se refiere a todo lo que es o existe en un determinado tiempo y espacio.

La *ontología general* se refiere a todo lo que forma parte del *dominio* de un sistema inteligente, es decir, todo lo que el sistema es capaz de reconocer e interpretar del medioambiente y que le es útil para tomar una decisión. La *ontología* se refiere a un caso particular de la ontología general que se presenta en el medioambiente.

Un sistema es inteligente en la medida en que a través de sus capacidades inteligente, es capaz de reconocer e interpretar información del medioambiente. Es decir, en la medida en que en la *ontología general* del sistema se encuentre un mínimo de correspondencia con la *ontología* del caso específico que se le presenta.

### 3.2 MEDIOAMBIENTE

El medioambiente es *el suprasistema del sistema inteligente*. Como sistema, un medioambiente puede clasificarse de acuerdo a las características que exhibe. En el contexto de los sistemas inteligentes su medioambiente se clasifica según sus características de la siguiente manera:

- *Accesibilidad:*

Se dividen en accesibles e inaccesibles. Un medioambiente es accesible si el aparato sensorial del sistema inteligente le permite tener acceso a todos los aspectos relevantes a la elección de una acción.



- *Predicibilidad:*

Se dividen en determinísticos y probabilísticos. Un medioambiente es determinístico si su próximo estado es predecible a partir del estado actual y de las acciones escogidas por el sistema inteligente.

- *Divisibilidad.*

Se dividen en episódicos y únicos. Un medioambiente es episódico si puede dividirse en segmentos dependientes entre sí. La calidad de las acciones del sistema inteligente dependerá del episodio en el que se encuentre, dado que las acciones en otros episodios son irrelevantes.

- *Actividad.*

Se dividen en estáticos y dinámicos. Si existe la posibilidad de que el medioambiente sufra modificaciones mientras el sistema inteligente se encuentra deliberando, se dice que el medioambiente es dinámico respecto al sistema inteligente.

- *Intervalo de dominio.*

Se dividen en discretos y continuos. Si existe una cantidad finita de percepciones y acciones claramente discernibles, se dice que el medioambiente es discreto.

Una vez conocidos los conceptos de ontología general y medioambiente, es posible describir las características de los sistemas inteligentes.

### 3.3 INSTINTO (Capacidad de supervivencia)

Instinto es *la conducta animal inconsciente (incluyendo a los humanos) que tiene como función reconocer de inmediato la utilidad o peligro de objetos y eventos que se encuentran en el medioambiente.*

El instinto es una forma primitiva de **adaptación**. Lo que interesa al sistema inteligente es responder a un determinado objeto o evento a través de una conexión *estimulo-reacción*. Aquí, las capacidades cognoscitivas juegan un papel importante. Mantenerse informado de lo que ocurre en el exterior es parte fundamental para la supervivencia del sistema, ya que es lo que le permite identificar la utilidad o peligro de los objetos y eventos en el medioambiente.

Se identifican los siguientes elementos en esta característica: subsistema de sensores (capacidades cognoscitivas) y subsistema de procesamiento de estímulos. El control toma forma de: ¿Están mis lecturas del medio actualizadas?.

### 3.4 APRENDIZAJE (Autonomía)

Aprendizaje es *la modificación en la forma de reaccionar de un organismo frente a una situación experimentada anteriormente.*

Cualquier sistema (natural o artificial) tiene una función específica; es decir objetivos que cumplir. Los métodos que los sistemas artificiales tradicionales (sistemas no inteligentes) utilizan para alcanzar sus objetivos están fijados de manera muy rígida. En otras palabras, un sistema no será capaz de alcanzar sus objetivos si no es capaz de adaptarse a los cambios en el entorno.

Un sistema que aprende, tiene la capacidad de emprender acciones basándose en su propio conocimiento, capacidad que se denominará **autonomía**. Un sistema autónomo utiliza la capacidad cognoscitiva no solamente para responder a un determinado objeto o evento, sino también para incrementar su conocimiento a partir de sus experiencias.

El aprendizaje es importante para aquellos sistemas que tienen muy poca información sobre lo que deben hacer para alcanzar sus objetivos. En este caso, las acciones que el sistema realizará serán muy sencillas: hará cualquier cosa que parezca que ayude a alcanzar sus objetivos. A medida que el sistema obtenga información sobre el efecto que tienen sus acciones, podrá construir un mapa del mundo en el que se encuentra.

Para esta característica se identifica el siguiente elemento: subsistema de almacenamiento de experiencias. El control es reforzado con la pregunta ¿Qué efecto producen mis acciones?.

### 3.5 RAZONAMIENTO (Planificación)

**Razonamiento** es *la operación en la que partiendo de uno o varios juicios (premisas del razonamiento), se infiere un nuevo juicio (conclusión o consecuencia) que se desprende lógicamente de las premisas.* El paso de las premisas a la conclusión siempre se efectúa siguiendo alguna regla de la lógica (regla de inferencia)<sup>21</sup>.

Un sistema que exhiba instinto y aprendizaje no necesariamente será eficiente en alcanzar sus objetivos. Es posible que ni siquiera llegue a alcanzarlos.

---

<sup>21</sup> M.M. Rosental y P.F. Iudin, DICCIONARIO DE FILOSOFÍA, pág. 390.

Para actuar racionalmente, los sistemas inteligentes deben hacerlo en función de alcanzar sus objetivos basándose en su conocimiento. Para ello el sistema inteligente puede optar por dos alternativas. Dependiendo del nivel de autonomía y de las características del medioambiente en el que opere, el sistema puede:

- *Planificar sus acciones sobre la base de los resultados de la **búsqueda de la mejor solución**.*

Si el medioambiente es accesible, permitiéndole construir un conjunto de espacios de estado con los cuales seleccionar la mejor de las acciones (o conjunto de acciones) a tomar, su eficiencia estará determinada por la eficiencia del algoritmo de búsqueda con relación al nivel de complejidad y accesibilidad del medioambiente.

Si el medioambiente es inaccesible podría incluso no encontrar una solución en el tiempo requerido.

- *Basar sus acciones en el conocimiento obtenido de su propia experiencia o de otras fuentes.*

El sistema inteligente planifica sus acciones sobre la base de la representación del conocimiento que tiene sobre el estado actual y los efectos que podrían tener sus acciones. No obstante, en determinadas circunstancias, el sistema podría inferir más de una acción que le ayude a alcanzar el objetivo. En ese caso, debería compararlas para encontrar la mejor opción en términos de eficiencia y así evitar actuar de forma “empírica”.

Cuando se trata de problemas muy complejos el sistema inteligente debe poseer la capacidad de combinar ambas alternativas: planificar sus acciones sobre la base de sus “creencias” sobre los estados, acciones y efectos (representación del conocimiento) y posteriormente buscar en el espacio de planes resultante la solución al problema. Nótese que la búsqueda deberá devolver la mejor solución de entre un conjunto de planes, no de entre un conjunto de espacios de estado.

En la figura 1.3.1 se muestra un sistema que integra las tres características mencionadas anteriormente. Las características de la conducta inteligente, están organizadas en niveles, en la que cada una de estas exige la anterior.

Por ejemplo, un sistema construido para hacer cortes de precisión de láminas de aluminio, puede ser capaz de inferir la mejor acción para realizar esa tarea, pero encontrar esa solución le puede significar invertir tanto tiempo que la dirección de la fábrica decide no seguir esperando.

El sistema necesita de un “instinto de supervivencia” que le permita decidir en que momento parar de “pensar” y actuar para “conservar su trabajo”.

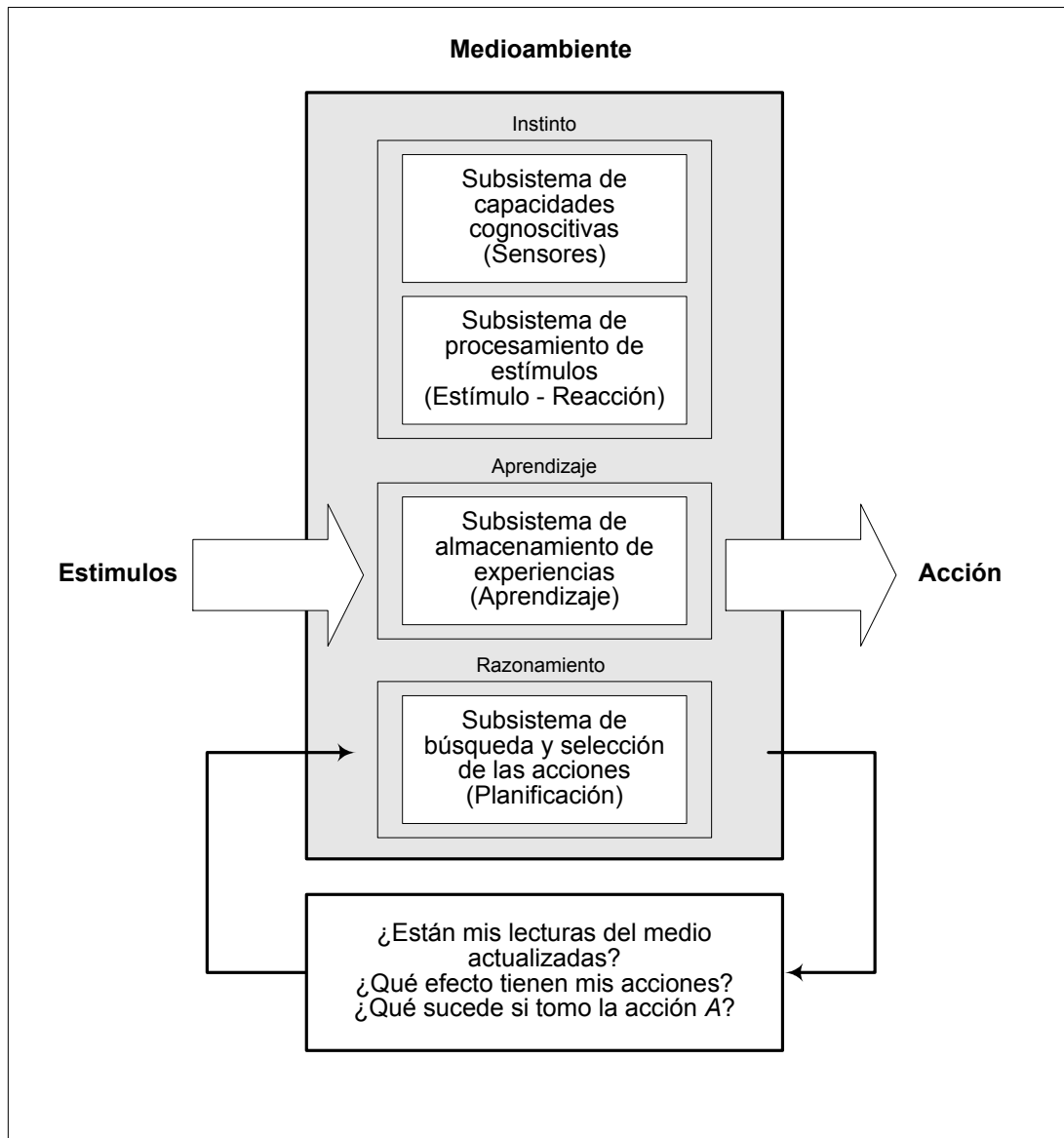


Figura 1.3.1. Sistema que integra las capacidades de instinto, aprendizaje y razonamiento.

Por otro lado, se puede inferir que cada una de las tres características son exhibidas en distintos niveles, determinadas por las capacidades del sistema que se esté analizando y por el tipo de problema que se desea resolver. Sin embargo un sistema inteligente es aquel que llega a un nivel de razonamiento tal que le permite alcanzar sus objetivos de forma eficiente.

## 4. TECNICAS DE REPRESENTACION DEL CONOCIMIENTO

En el apartado de *sistemas inteligentes* se explica que para que un sistema inteligente pueda tener capacidad de planificar sus acciones basándose en un razonamiento lógico, debe combinar las técnicas de búsqueda y de representación del conocimiento. Hasta ahora la representación del conocimiento se ha planteado como “lo que se sabe del mundo”. Este concepto brinda una noción aproximada del significado que tiene para un sistema inteligente la forma en como concibe el mundo. Si el sistema no cuenta con suficiente información o no logra aprovechar lo suficiente la que posee, puede fracasar no solamente en su intento de alcanzar su objetivo sino también en la de sobrevivir.

### 4.1 DEFINICION Y CARACTERISTICAS

Bench-Capon define la representación del conocimiento como: “...una serie de convenciones sintácticas y semánticas que hacen posible describir las cosas. En donde la **sintaxis** es aquello que especifica una serie de reglas para combinar símbolos de tal forma que formen expresiones válidas. La **semántica** es la especificación de cómo tales expresiones son interpretadas.” (Henao Calad, 1998, pág. 8)

La técnica de representación determina la facilidad con la que se pueden resolver ciertos problemas y utilizar el conocimiento.

La calidad de una técnica de representación de conocimiento se mide por las siguientes características (Rich y Night, *et al*, 1994):

- *Suficiencia de la representación*: La capacidad de representar todos los tipos de conocimiento necesarios en el dominio.
- *Suficiencia deductiva*: La capacidad para manipular las estructuras de la representación con el fin de obtener nuevas estructuras que se correspondan con un nuevo conocimiento deducido a partir del antiguo.
- *Eficiencia deductiva*: La capacidad para incorporar información adicional en las estructuras de conocimiento con el fin de que los mecanismos de inferencia puedan seguir las direcciones más prometedoras.
- *Eficiencia de adquisición*: La capacidad de adquirir nueva información con facilidad. Idealmente, el sistema debería ser capaz de controlar la adquisición del conocimiento por sí mismo.

Otros autores como Rolston (1992) incluyen otras características como:

- *Transparencia*. Proveer de facilidad para identificar el conocimiento almacenado.
- *Claridad*. Representar el conocimiento directamente.
- *Naturalidad*. Representar el conocimiento en forma original.
- *Modularidad*. Almacenar el conocimiento en fragmentos independientes.

## 4.2 CLASIFICACION DE LAS TECNICAS DE REPRESENTACION

Una forma de clasificar las técnicas de representación de conocimiento, es a partir del énfasis que ponen en la definición de hechos o reglas, de esta forma se dividen en dos clases: declarativa y procedimental.

- Las **técnicas declarativas** se centran en los hechos, e incluyen una definición limitada de como se va a emplear el conocimiento.
- Las **técnicas procedimentales** se centran en las reglas, que describen procedimientos de como usar el conocimiento con poca memoria y directamente como hechos.

En general, todas las técnicas de representación de conocimiento constan de hechos y reglas.

Otra forma de clasificar las técnicas de representación de conocimiento, es a partir de la complejidad de la representación (ver figura 1.4.1).

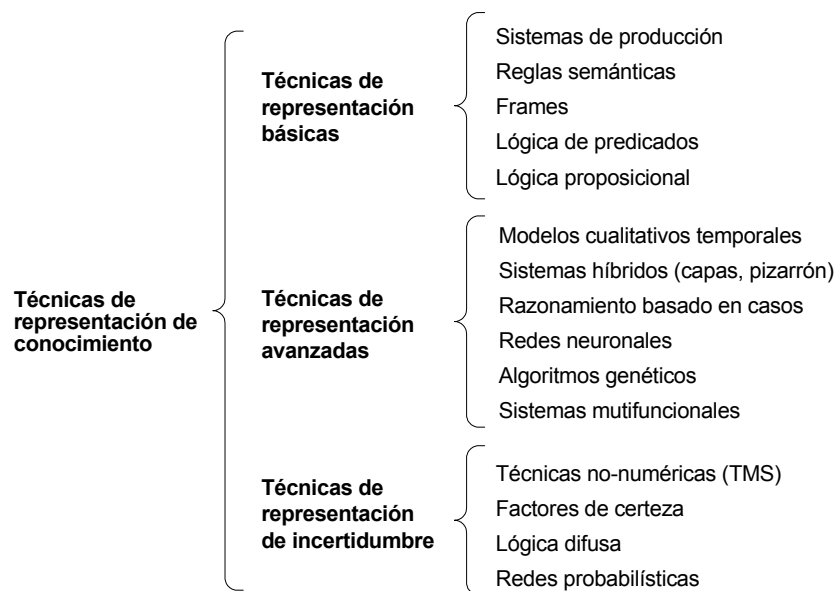


Figura 1.4.1. Clasificación de las técnicas de representación de conocimiento

## 4.3 TECNICAS DE REPRESENTACION DE CONOCIMIENTO

A continuación se presentan algunas de las técnicas de representación de conocimiento más importantes desarrolladas hasta ahora.

### 4.3.1 LOGICA PROPOSICIONAL

También llamada **lógica propositiva**, permite expresar y razonar con declaraciones que son verdaderas o falsas.

Un ejemplo de declaración es el siguiente:

*La Universidad es un centro de estudios.*

*La semana tiene siete días.*

A este tipo de declaraciones se les llama *proposiciones* (en otras palabras, las proposiciones son oraciones simples) y se representan con letras mayúsculas. (p.ej.: P, Q, R,... etc). Estos símbolos, pueden combinarse usando conectivas (o conectivos booleanos) para generar oraciones de significado más complejo.

### Representación del conocimiento

Los símbolos utilizados para representar el conocimiento son: Las constantes lógicas *verdadero* y *falso*, símbolos de proposiciones (letras mayúsculas), las conectivas  $\wedge$ ,  $\vee$ ,  $\Leftrightarrow$ ,  $\Rightarrow$ ,  $\neg$  y paréntesis ( ).

Las oraciones se forman combinando los signos mediante las reglas:

- Las constantes lógicas *verdadero* y *falso* constituyen oraciones en sí mismas.
- Un símbolo propositivo es una oración en sí mismo.
- Colocar entre paréntesis una oración produce también una oración.
- Una oración se forma combinando oraciones más sencillas.
- Las oraciones son combinadas con los conectores lógicos:

$\wedge$  (y). A la oración cuyo conector principal es  $\wedge$  se le denomina **conjunción**, a sus partes se les llama conyuntos.

$\vee$  (o). A la oración en la que aparece  $\vee$  se le denomina **disyunción**, a sus partes se les llama disyuntos.

$\Rightarrow$  (Implica). Una oración como  $(P \wedge Q) \Rightarrow R$  se le conoce como **implicación** (o condicional). Su premisa o antecedente es  $P \wedge Q$  y su **conclusión** o **consecuente** es R.

$\Leftrightarrow$  (equivalente). La oración es una **equivalencia** (también conocida como **bicondicional**).

$\neg$  (no). A una oración  $\neg P$  se le conoce como **negación** P.

Orden de prioridad de los conectores:  $\neg, \wedge, \vee, \Rightarrow, \Leftrightarrow$ .

## Proceso de inferencia

La inferencia en la lógica proposicional se realiza a través de reglas lógicas que toman la forma de implicación (Premisas  $\Rightarrow$  Conclusión). Las premisas son evaluadas y comparadas con una conclusión predefinida. Si los resultados no son iguales se dirá que la implicación es incorrecta.

Para determinar la validez de una oración, se construye una tabla de verdad con una fila por cada una de las posibles combinaciones de valores de verdad de los signos propositivos de la oración.

Por ejemplo, una proposición puede representarse mediante una fórmula, cuyo significado es la siguiente función:

$$w: \text{proposición} \Rightarrow \{\text{verdadero} \mid \text{falso}\}$$

Sean F y G dos proposiciones, la función  $w$  es una *función de interpretación* que satisface la siguiente tabla de verdad.

Cuadro 1.4.1. Tabla de verdad para la función  $w$ .

F	G	$\neg F$	$F \wedge G$	$F \vee G$	$F \Rightarrow G$	$F \Leftrightarrow G$
T	T	F	T	T	T	T
T	F	F	F	T	F	F
F	T	T	F	T	T	F
F	F	T	F	F	T	T

Existen ciertos patrones de inferencia que son repetitivos, lo que permite establecer su confiabilidad una sola vez. De esta manera se aprende el patrón respectivo en una **regla de inferencia**. Una vez establecida una regla, puede emplearse para hacer más inferencias sin necesidad de comprobar nuevamente su validez.



Para denotar que una oración  $\beta$  puede obtenerse mediante inferencia desde  $\alpha$  se utiliza:  $\alpha \vdash \beta$  o  $\frac{\alpha}{\beta}$ . Siempre que algo que se encuentre en el conocimiento coincida con el patrón  $\alpha$ , la regla de inferencia obtendrá como conclusión  $\beta$ . La regla de inferencia se considera confiable si la conclusión es igual al resultado de la evaluación de las premisas.

Un método de inferencia completo es aquel que permite la enumeración de  $2^n$  combinaciones (utilizada para formar su tabla de verdad), en una demostración donde intervengan  $n$  proposiciones. Puede observarse que el tiempo de cálculo de la demostración es exponencial en  $n$ .

Steven Cook demostró que la verificación de la satisfacción de un conjunto de oraciones es NP completa, por lo que es muy poco probable que produzca un algoritmo en tiempo polinomial. Sin embargo, en muchos casos la demostración correspondiente a cada determinada oración se refiere sólo a un pequeño subconjunto de conocimiento y puede obtenerse bastante rápido. En otras palabras, no todas las inferencias propositivas tardarán un tiempo proporcional a  $2^n$ .

Existen siete reglas de inferencia en lógica proposicional, enumeradas en el cuadro 1.4.2.

Para que el conocimiento pueda ser aplicado en la inferencia, utilizando la regla del modus ponens, debe representarse mediante Oraciones de Horn

### **Oraciones de Horn**

Una *oración de Horn* esta formada por un conjunto de oraciones atómicas<sup>22</sup> relacionadas por medio de conectores, cuya implicación sea un único átomo a la derecha. También son llamadas Cláusulas de Horn. Su forma es la siguiente:

$$P_1 \wedge P_2 \wedge P_3 \wedge \dots \wedge P_n \Rightarrow Q$$

No siempre es posible expresar las oraciones como oraciones de Horn, pero con las que es posible hacerlo la realización de nuevas inferencias se facilita, pues permite la aplicación del Modus Ponens.

---

<sup>22</sup> Representan una sola proposición, sin utilizar conectores lógicos con excepción de  $\neg$ .

Cuadro 1.4.2. Reglas de inferencia de la lógica proposicional

Regla		Forma simbólica
Modus Ponens (Implicación-Eliminación)	A partir de una implicación y la premisa de la implicación, se puede inferir la conclusión.	$\frac{\alpha \Rightarrow \beta, \quad \alpha}{\beta}$
Y-Eliminación	A partir de una conjunción se puede inferir cuáles son conyuntos.	$\frac{\alpha_1 \wedge \alpha_2 \wedge \dots \wedge \alpha_n}{\alpha_i}$
Y-Introducción	A partir de una lista de oraciones es posible inferir su conjunción.	$\frac{\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n}{\alpha_1 \wedge \alpha_2 \wedge \dots \wedge \alpha_n}$
O-Introducción	A partir de una oración, es posible inferir su disyunción con todo lo demás	$\frac{\alpha_i}{\alpha_1 \vee \alpha_2 \vee \dots \vee \alpha_n}$
Doble negación-eliminación	A partir de una oración doblemente negada, es posible inferir una oración positiva.	$\frac{\neg\neg\alpha}{\alpha}$
Resolución unitaria <sup>23</sup>	A partir de una disyunción, si uno de los disyuntos es falso, entonces se puede inferir que el otro es verdadero.	$\frac{\alpha \vee \beta, \quad \neg\beta}{\alpha}$
Resolución	Dado que $\beta$ no puede ser verdadera ni falsa al mismo tiempo, uno de los otros disyuntos debe ser una de las premisas. O también que la implicación es transitiva.	$\frac{\alpha \vee \beta, \quad \neg\beta \vee \gamma}{\alpha \vee \gamma}$

Ejemplo 1.4.1. El mundo de Wumpus

Para ejemplificar la inferencia utilizando lógica proposicional, se utilizará un tipo de ambiente sencillo llamado *mundo de wumpus*<sup>24</sup>.

Es un antiguo juego de computadora que consiste en un sistema inteligente que explora una cueva en donde hay habitaciones conectadas entre sí por pasadizos. En algún sitio de la cueva acecha el wumpus, una bestia que devora todo lo que entre a su habitación. En algunas de las habitaciones hay insondables precipicios, que entranpan a cualquiera que camine por éstas (el único que no puede caer en estos precipicios es el wumpus, pues es demasiado grande y no cabe en ellos). Lo único alentador de vivir en este ambiente es la posibilidad de hallar una pila de oro.

<sup>23</sup> La regla de resolución unitaria es un caso especial de la regla de resolución, que es a su vez un caso especial de la regla de resolución completa correspondiente a la lógica de predicados de orden superior. En este trabajo solo se abordará la lógica de primer orden.

<sup>24</sup> Tomado de Russel y Norving, págs. 163, 164, 184-186.

Supuestos:

- En el cuadro en donde está el wumpus y en los cuadros directamente contiguos (no los que estén en sentido diagonal), el sistema alcanza a percibir un hedor.
- En los cuadros directamente contiguos a un precipicio, el sistema inteligente percibe una brisa.
- En el cuadro donde está el oro, el sistema percibe un resplandor.
- Si al caminar el sistema topa con un muro, percibirá un golpe.
- Si mata al wumpus, este lanza un aterradorante gemido que se escucha por toda la cueva.

Para el desarrollo del ejercicio, se supondrá que el sistema inteligente se encuentra en la situación mostrada en la figura 1.4.2:

1,4	2,4	3,4	4,4
1,3 <b>W!</b>	2,3	3,3	4,3
1,2 <b>A</b> <b>H</b> <b>OK</b>	2,2 <b>OK</b>	3,2	4,2
1,1 <b>V</b> <b>OK</b>	2,1 <b>B</b> <b>V</b> <b>OK</b>	3,1 <b>P!</b>	4,1

A: Sistema Inteligente  
 B: Brisa  
 OK: Cuadro seguro  
 V: Visitado  
 H: Hedor  
 P: Precipicio

*Figura 1.4.2. Representación del mundo de Wumpus (estado actual).*

Durante el recorrido de la cueva, el sistema inteligente ha recopilado información sobre el ambiente en el que se encuentra, y que ahora forma parte de su conocimiento. La meta será determinar donde se encuentra el wumpus.

Dentro del conocimiento del sistema inteligente se encuentran las oraciones de percepción siguientes<sup>25</sup>:

$\neg H_{1,1}$  : No hay hedor en [1,1]

$\neg H_{2,1}$  : No hay hedor en [2,1]

$H_{1,2}$  : Hay hedor en [1,2]

$\neg B_{1,1}$  : No hay brisa en [1,1]

$B_{2,1}$  : Hay brisa en [2,1]

$\neg B_{1,2}$  : No hay brisa en [1,2]

El sistema inteligente para poder empezar, utiliza el conocimiento que ha recopilado del ambiente. Por ejemplo, él sabe que si no hay olor en uno de los cuadros, entonces ni en éste ni en los cuadros adyacentes puede haber un wumpus. El sistema inteligente necesita este conocimiento para cada uno de los cuadros de su mundo; a continuación se muestran las oraciones correspondientes a los tres cuadros que interesan; cada implicación se identificará mediante un símbolo R con un subíndice.

$R_1 : \neg H_{1,1} \Rightarrow \neg W_{1,1} \wedge \neg W_{1,2} \wedge \neg W_{2,1}$

$R_2 : \neg H_{2,1} \Rightarrow \neg W_{1,1} \wedge \neg W_{2,1} \wedge \neg W_{2,2} \wedge \neg W_{3,1}$

$R_3 : \neg H_{1,2} \Rightarrow \neg W_{1,1} \wedge \neg W_{2,1} \wedge \neg W_{2,2} \wedge \neg W_{1,3}$

También se sabe que si hay hedor en [1,2], entonces debe haber un wumpus en [1,2] o en uno o más de los cuadros vecinos. Lo anterior se representa mediante la implicación:

$R_4 : H_{1,2} \Rightarrow W_{1,3} \vee W_{1,2} \vee W_{2,2} \vee W_{1,1}$

Proceso de inferencia:

Paso 1.

Utilizando  $\neg H_{1,1}$  y la oración  $R_1$ , aplicar Modus Ponens:

$\neg W_{1,1} \wedge \neg W_{1,2} \wedge \neg W_{2,1}$

---

<sup>25</sup> El subíndice hace referencia a la casilla. Ejemplo:  $W_{1,1}$  = El wumpus esta en [1,1]

Paso 2.

Aplicando Y-Eliminación a lo anterior, se obtiene:

$$\neg W_{1,1}$$

$$\neg W_{1,2}$$

$$\neg W_{2,1}$$

Paso 3.

Aplicar Modus ponens a  $\neg H_{2,1}$  y a  $R_2$  :

$$\neg W_{1,1} \wedge \neg W_{2,1} \wedge \neg W_{2,2} \wedge \neg W_{3,1}$$

Paso 4.

Aplicar Modus Ponens a  $H_{1,2}$  y a  $R_4$  :

$$W_{1,3} \vee W_{1,2} \vee W_{2,2} \vee W_{1,1}$$

Paso 5.

Aplicar Y-Eliminación al resultado anterior ( $\neg W_{1,1}$  no se presenta en el resultado pues ya se obtuvo en el paso 2):

$$\neg W_{2,1}$$

$$\neg W_{2,2}$$

$$\neg W_{3,1}$$

Paso 6.

Aplicando la regla de resolución unitaria donde:

$$\beta = W_{1,1} \text{ (en el paso 2 se obtuvo } \neg W_{1,1}\text{)}$$

$$\alpha = W_{1,3} \vee W_{1,2} \vee W_{2,2}$$

Se obtiene:  $W_{1,3} \vee W_{1,2} \vee W_{2,2}$

Paso 7.

Aplicando la regla de resolución unitaria donde:

$$\beta = W_{2,2} \text{ (en el paso 4 se obtuvo } \neg W_{2,2}\text{)}$$

$$\alpha = W_{1,3} \vee W_{1,2}$$

Se obtiene:  $W_{1,3} \vee W_{1,2}$

Paso 8.

Aplicando la regla de resolución unitaria donde:

$$\beta = W_{1,2} \text{ (en el paso 2 se obtuvo } \neg W_{1,2}\text{)}$$

$$\alpha = W_{1,3}$$

Se obtiene:  $W_{1,3}$

“El wumpus se encuentra en [1,3]”

### 4.3.2 LOGICA DE PREDICADOS

También llamada **lógica de primer orden**. Este modelo considera que el mundo está compuesto por objetos que tienen identidades individuales y **propiedades** que los distinguen de otros objetos. Entre los objetos existen diversos tipos de **relaciones**, algunas de éstas son funciones.

El esquematizar el mundo de esta forma facilita la tarea de razonar sobre él. También es posible expresar hechos sobre todos los objetos del universo. Esto aunado al conector de implicación de lógica proposicional, permite la representación general de leyes o reglas.

#### Representación del conocimiento

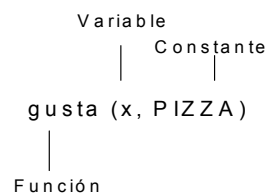
La representación de conocimiento mediante lógica de predicados consta de los siguientes elementos sintácticos:

- Términos
- Predicado
- Cuantificador
- Igualdad

#### 1. Términos

Un término es una expresión lógica que se refiere a un objeto. Hay tres tipos de términos:

- **Constantes (A)**: Se usa para representar un objeto específico del dominio.
- **Variables (x)**: Se emplea para representar un conjunto de objetos del dominio sin especificar en concreto ninguno de ellos. Cuando un término no tiene variables se le llama **término de base**.
- **Funciones (f(x,y))**: Describe una relación funcional. Una relación funcional es aquella que indica que un objeto está relacionado únicamente con otro objeto. El significado de una relación funcional es asignado arbitrariamente.



## 2. *Predicado*

El predicado se emplea para representar relaciones. Indica que un objeto se relaciona en alguna forma específica con otro. Un predicado tiene un valor de *verdadero* si los objetos dados están relacionados del modo especificado, en caso contrario el valor será *falso*.

- **Oraciones atómicas:** Los predicados junto a los términos que identifican los elementos relacionados conforman *oraciones atómicas*. Ejemplo:

Gusta (Pedro, Comer) = “A pedro le gusta comer”.

- **Oraciones complejas:** Las oraciones atómicas no son capaces de representar enunciados complejos. Pueden construirse *oraciones complejas* para representar estos enunciados mediante **conectores lógicos**. Los conectores lógicos utilizados en la lógica de predicados son los mismos a los empleados en la lógica proposicional. Ejemplo:

Estudiante (Hugo)  $\wedge$  EstudiaEn(Hugo, UES)  $\wedge$  Carrera (IngenieriaDeSistemas)  
“Hugo es un estudiante de la UES de la carrera de Ingeniería de Sistemas”

## 3. *Cuantificadores*

Los cuantificadores permiten expresar propiedades de conjuntos de grupos de objetos en vez de enumerarlos por su nombre. Existen dos tipos de cuantificadores: **universales** y **existenciales**.

Los cuantificadores universales se representan mediante el símbolo  $\forall$ , que en general se lee “Para todo...”. Un cuantificador universal indica de manera resumida una conjunción ( $\wedge$ ) que se aplica a todos los objetos del conjunto representado por la variable a la que se aplica. La oración universalmente cuantificada es verdadera solamente cuando todas las conjunciones son verdaderas. Sintáctica y semánticamente, este símbolo es muy empleado en la matemática, por lo que no requiere mayor explicación.

Los cuantificadores existenciales se representan mediante el símbolo  $\exists$ , que se lee “Existe...”. Expresan afirmaciones sobre cualquier objeto. Indica de manera resumida una disyunción ( $\vee$ ) que se aplica a todos los objetos del conjunto representado por la variable a la que se le aplica. La oración universalmente cuantificada es verdadera cuando al menos una de las disyunciones es verdaderas. Al igual que el cuantificador universal, este es muy empleado en la matemática.



#### 4. Igualdad

En la lógica de predicados hay varias formas de construir oraciones atómicas. Además de la que consiste en utilizar un predicado y términos, se puede utilizar el **símbolo de igualdad (=)** para formular enunciados en los que dos términos se refieren a un mismo objeto.

La igualdad expresa una **relación de identidad**, que es el conjunto de pares de objetos donde ambos elementos son el mismo objeto.

La inferencia en este modelo se hace de forma análoga que en la lógica proposicional. El proceso depende solamente de las manipulaciones sintácticas, consiste en demostrar rigurosamente la validez de un enunciado (oración) propuesto, basándose en el valor de verdad que ya se conoce.

La lógica de predicados permite deducir nuevas sentencias a partir de las antiguas. Sin embargo, no dispone de un procedimiento de decisión. Existen procedimientos de inferencia que permitirán encontrar la validez de una implicación, si en realidad se trata de una implicación.

El proceso de inferencia utilizado en esta representación involucra la **sustitución de variables** y la utilización de nuevas **reglas de inferencia** (algunas derivadas de las usadas en lógica proposicional): eliminación universal, eliminación existencial, introducción existencial y Modus Ponens generalizado, que son presentadas a continuación:

##### **Sustitución de variables**

La sustitución de objetos reales por variables se lleva a cabo utilizando la siguiente notación:

Sea:

- $x$  un término base<sup>26</sup>.
- $v$  una variable que no está descrita en la oración.
- $\infty$  una oración
- $\theta$  una lista de enlaces de la forma  $\{x_1/v_1, x_2/v_2, \dots, x_n/v_n\}$
- $Sust(\theta, \infty)$ , se refiere a la aplicación de la sustitución de la lista de enlaces  $\theta$  en la oración  $\infty$ .

---

<sup>26</sup> También llamados *valores* en algunos libros. El *término base* es aquel en donde no hay variables.

*Ejemplo 1.4.2. Sustitución de objetos reales por variables.*

$$\alpha = x,y \text{ Persona}(x) \wedge \text{Producto}(y) \wedge \text{Gusta}(x, y)$$

$$\theta = \{x/\text{Daniel}, y/\text{camisa}\}$$

realizando la substitución:

$$\text{sust}(\{x/\text{Daniel}, y/\text{camisa}\}, \text{Persona}(x) \wedge \text{Producto}(y) \wedge \text{Gusta}(x, y))$$

se obtiene:

$$\text{Persona}(\text{Daniel}) \wedge \text{Producto}(\text{camisa}) \wedge \text{Gusta}(\text{Daniel}, \text{camisa})$$

## Reglas de inferencia

Las reglas de inferencia definidas en la lógica proposicional son válidas en la lógica de predicados, pero se necesitan reglas de inferencia adicionales para manejar las oraciones de lógica de predicados con cuantificadores. Estas son más complejas que las anteriores pues substituyen entes particulares por variables.

### **Eliminación Universal**

Para toda oración  $\alpha$ , variable  $v$  y un término base  $g$ :

$$\frac{\forall v \alpha}{\text{Sust}(\{v/g\}, \alpha)}$$

*Ejemplo 1.4.3. Aplicación de la eliminación universal.*

Tenemos la siguiente oración ( $\alpha$ ): “Si para todos los valores de  $x$  se cumple que  $x$  es un software, y que con  $x$  se crean documentos de texto con formato, entonces  $x$  es un procesador de palabras”

$$\forall x \text{ Soft}(x) \wedge \text{Crear}(x, \text{DocsConFormato}) \Rightarrow \text{ProcDePalab}(x)$$

Y conocemos que:

$$\text{Soft}(\text{MSWord}) \wedge \text{Crear}(\text{MSWord}, \text{DocsConFormato})$$

Al aplicar la regla se obtiene:

$$\text{Soft}(\text{MSWord}) \wedge \text{Crear}(\text{MSWord}, \text{DocsConFormato}) \Rightarrow \text{ProcDePalab}(\text{MSWord})$$

### **Eliminación Existencial**

Para toda oración  $\alpha$ , variable  $v$  y símbolo constante  $k$  que no aparezca en ninguna parte de base de conocimientos:

$$\frac{\exists v \alpha}{\text{Sust}(\{v/k\}, \alpha)}$$

*Ejemplo 1.4.4. Aplicación de la eliminación existencial:*

$\alpha$  = “Los administradores de red usan un software  $x$  que monitorea el tráfico de la red”

$$\exists x \text{ Usar}(\text{Admin}, x) \wedge \text{Soft}(x) \wedge \text{Monitorea}(x, \text{Red})$$

$k$  = “NetScan”

Al aplicar la regla se obtiene:

$$\text{Usar}(\text{Admin}, \text{NetScan}) \wedge \text{Soft}(\text{NetScan}) \wedge \text{Monitorea}(\text{NetScan}, \text{Red})$$

### **Introducción Existencial**

Para toda oración  $\alpha$ , variable  $v$  que no este en  $\alpha$  y termino de base  $g$  que no este presente en  $\alpha$ :

$$\frac{\alpha}{\exists v \text{ Sust}(\{g/v\}, \alpha)}$$

*Ejemplo 1.4.5. Aplicación de la introducción existencial:*

$\alpha$  = Vende(Pedro, Libros)

Al aplicar la regla se obtiene:

$$\exists x \text{ Vende}(x, \text{Libros})$$

*Ejemplo 1.4.6.*

*La ley establece que se considera como delito el que un estadounidense venda armas a naciones enemigas. El país Nono, enemigo de Estados Unidos, tiene algunos proyectiles que le fueron vendidos por el coronel West, un estadounidense<sup>27</sup>.*

---

<sup>27</sup> Tomado de Russell y Norvig, págs.: 282-283.

El objetivo es demostrar que West es un delincuente. Los hechos identificados son:

1. "...es delito el que un estadounidense venda armas a naciones enemigas".
2. "Nono...tiene algunos proyectiles".
3. "Todos sus proyectiles se los vendió el coronel West".
4. Los proyectiles son armas.
5. Estados Unidos considera a sus enemigos "hostiles".
6. "West, que es estadounidense...".
7. "El país Nono...".
8. "Nono, enemigo de Estados Unidos".

Al representar estos hechos a través de oraciones se tiene:

$O_1: \forall x,y,z, \text{Estadounidense}(x) \wedge \text{Arma}(y) \wedge \text{Nación}(z) \wedge \text{Hostil}(z) \wedge \text{Vende}(x, y, z) \Rightarrow \text{Delincuente}(x)$

$O_2: \exists x \text{ Posee}(\text{Nono}, x) \wedge \text{Proyectiles}(x)$

$O_3: \forall x \text{ Posee}(\text{Nono}, x) \wedge \text{Proyectiles}(x) \Rightarrow \text{Vende}(\text{West}, \text{Nono}, x)$

$O_4: \forall x \text{ Proyectiles}(x) \Rightarrow \text{Armas}(x)$

$O_5: \forall x \text{ Enemigo}(x, \text{Estadounidense}) \Rightarrow \text{Hostil}(x)$

$O_6: \text{Estadounidense}(\text{West})$

$O_7: \text{Nación}(\text{Nono})$

$O_8: \text{Enemigo}(\text{Nono}, \text{Estados Unidos})$

$O_9: \text{Nación}(\text{Estados Unidos})$

Proceso de inferencia:

Paso 1.

Aplicar Eliminación existencial a  $O_2$ :

$O_{10}: \text{Posee}(\text{Nono}, M1) \wedge \text{Proyectil}(M1)$

Paso 2.

Aplicando Y-Eliminación a  $O_{10}$ .

$O_{11}: \text{Posee}(\text{Nono}, M1)$

$O_{12}: \text{Proyectil}((M1)$

Paso 3.

Aplicando Eliminación universal a  $O_4$ .

$$O_{13}: \text{Proyectil}(M1) \Rightarrow \text{Arma}(M1)$$

Paso 4.

Aplicando Modus Ponens a  $O_{12}$  y  $O_{13}$ .

$$O_{14}: \text{Arma}(M1)$$

Paso 5.

Aplicando Eliminación universal a  $O_3$ .

$$O_{15}: \text{Posee}(\text{Nono}, M1) \wedge \text{Proyectil}(M1) \Rightarrow \text{Vende}(\text{West}, \text{Nono}, M1)$$

Paso 6.

Aplicando Modus Ponens a  $O_{15}$  y  $O_{10}$ .

$$O_{16}: \text{Vende}(\text{West}, \text{Nono}, M1)$$

Paso 7.

Aplicando Eliminación universal tres veces a  $O_1$ .

$$O_{17}: \text{Estadounidense}(\text{West}) \wedge \text{Arma}(M1) \wedge \text{Nación}(\text{Nono}) \wedge \text{Hostil}(\text{Nono}) \wedge \\ \text{Vende}(\text{West}, \text{Nono}, M1) \Rightarrow \text{Criminal}(\text{West})$$

Paso 8.

Aplicando Eliminación universal a  $O_5$ .

$$O_{18}: \text{Enemigo}(\text{Nono}, \text{EstadosUnidos}) \Rightarrow \text{Hostil}(\text{Nono})$$

Paso 9.

Aplicando Modus Ponens a  $O_8$  y  $O_{18}$ .

$$O_{19}: \text{Hostil}(\text{Nono})$$

Paso 10.

Aplicando Y-Introducción a  $O_6$ ,  $O_7$ ,  $O_{14}$ ,  $O_{16}$  y  $O_{19}$ .

$O_{20}$ : Estadounidense(West)  $\wedge$  Arma(M1)  $\wedge$  Nación(Nono)  $\wedge$  Hostil(Nono)  $\wedge$   
Vende(West, Nono, M1)

Paso 11.

Aplicando Modus Ponens a  $O_{17}$  y  $O_{20}$ .

$O_{21}$ : Criminal(West)

La aplicación de estas reglas de inferencia requiere invertir mucho tiempo combinado oraciones atómicas en conjunciones, aplicar reglas universales para efectuar cotejos, y luego aplicar Modus Ponens.

Cuando la base de conocimientos es muy extensa, el problema de razonamiento se vuelve un problema de búsqueda con una potencial explosión combinatoria muy alto. La regla Modus Ponens generalizado permite realizar la inferencia de manera más eficiente.

### **Modus Ponens generalizado**

Esta regla de inferencia proviene del Modus Ponens de la lógica proposicional. Para todas las oraciones atómicas  $p_i$ ,  $p_i'$  y  $q$ , en las que existe una sustitución  $\theta$  tal que  $Sust(\theta, p_i') = Sust(\theta, p_i)$  para toda  $i$ :

$$\frac{p_1', p_2', \dots, p_n', (p_1 \wedge p_2 \dots \wedge p_n \Rightarrow q)}{Sust(\theta, q)}$$

Para esta regla hay  $n+1$  premisas: las  $n$  oraciones atómicas  $p_i'$  y una implicación. Hay una conclusión: el resultado obtenido mediante la aplicación de la sustitución en la  $q$  consecuente.

Al igual que en la lógica proposicional, para que el conocimiento pueda ser utilizado en la inferencia, utilizando la regla del Modus Ponens generalizado, debe representarse en la forma canónica del Modus Ponens.

### *Forma canónica*

Se dice que el *conocimiento* se encuentra en la *forma canónica de Modus Ponens*, cuando esta formada por oraciones atómicas o implicaciones en forma de *oraciones de Horn*, de manera que coincidan con una de las premisas de la regla del Modus Ponens generalizado.

La forma canónica se utiliza cuando el objetivo es construir un mecanismo de inferencia con la regla de inferencia del Modus Ponens generalizado.

La conversión del conocimiento en oraciones de Horn se realiza aplicando Eliminación existencial e Y-introducción. Para abreviar, se acostumbra también a eliminar los cuantificadores existenciales y universales de la representación.

### *Ejemplo 1.4.7.*

Para explicar la aplicación del Modus Ponens generalizado se utilizará el ejemplo 1.4.6.<sup>28</sup>

Para aplicar Modus Ponens generalizado es necesario expresar la base de conocimientos en la forma de Horn. Las oraciones iniciales ( $O_1$  a  $O_9$ ) tienen la siguiente forma:

- $O_{10}$ : Estadounidense(x)  $\wedge$  Arma(y)  $\wedge$  Nación(z)  $\wedge$  Hostil(z)  $\wedge$  Vende(x, y, z)  $\Rightarrow$  Delito(x)
- $O_{11}$ : Posee(Nono, M1)
- $O_{12}$ : Proyectil(M1)
- $O_{13}$ : Posee(Nono, x)  $\wedge$  Proyectil(x)  $\Rightarrow$  Vende(West, Nono, x)
- $O_{14}$ : Proyectil(x)  $\Rightarrow$  Arma(x)
- $O_{15}$ : Enemigo(x, Estadounidense)  $\Rightarrow$  Hostil(x)
- $O_{16}$ : Estadounidense(West)
- $O_{17}$ : Nación(Nono)
- $O_{18}$ : Enemigo(Nono, Estadounidense)
- $O_{19}$ : Nación(Estadounidense)

---

<sup>28</sup> Tomado de Russell y Norvig, pág.: 287.

Proceso de inferencia:

Paso 1.

Aplicando Modus Ponens generalizado a  $O_{12}$  y  $O_{14}$ .

$O_{20}$ : Arma(M1)

Paso 2.

Aplicando Modus Ponens generalizado a  $O_{18}$  y  $O_{15}$ .

$O_{21}$ : Hostil(Nono)

Paso 3.

Aplicando Modus Ponens generalizado a  $O_{11}$ ,  $O_{12}$  y  $O_{13}$ .

$O_{21}$ : Vende(West, Nono, M1)

Paso 4.

Aplicando Modus Ponens generalizado a  $O_{16}$ ,  $O_{20}$ ,  $O_{17}$ ,  $O_{21}$ ,  $O_{22}$ , y  $O_{10}$ .

$O_{21}$ : Delincuente(West)



### 4.3.3 REDES SEMANTICAS

También llamadas **redes asociativas**. Este modelo fue propuesto por Quilliam y Collins en 1968 como un modelo de memoria humana para capturar la semántica de las palabras y lograr uso del significado parecido a los humanos. Su nombre procede de su uso original: representar el sentido en expresiones de lenguaje natural.

#### Representación del conocimiento

Las redes semánticas se pueden describir como un tipo de red en la que los nodos representan objetos, conceptos o situaciones y los arcos representan relaciones entre ellos.

Las categorías más importantes en las que se clasifican los nodos son:

- Clase. El concepto definido se cumple en todos los nodos referenciados hacia él.
- Disyunciones. Señala una relación “o” entre dos sujetos/objetos.
- Conjunciones. Señala una relación “y” entre dos sujetos/objetos.
- Sujeto/Objeto.
- Modificadores. Por lo general representan conceptos o estados del nodo origen.

Las relaciones entre los nodos pueden ser de dos categorías:

- Es un (es-un). Es una relación que indica que el nodo al que se apunta es una clase a la que pertenece el nodo origen.
- Descriptores. Propiedades particulares de un nodo específico.

#### *Ejemplo 1.4.8. Representación de conocimiento en redes semánticas.*

Se desea representar el siguiente conocimiento a través de redes semánticas:

*Los mamíferos son animales de sangre caliente que se caracterizan por beber leche. Entre los ejemplos de mamíferos tenemos los seres humanos, perros, gatos, etc...*

*...Mónica Contreras es un ser humano de 26 años que vive en Antiguo Cuscatlán. En la casa de Mónica hay un perro de color blanco llamado Ruddolf con un peso de 55 kgs...*

*...En Soyapango vive Miguel Fernández de 30 años, en su casa tienen un gato llamado Neko de color negro que pesa 4 kgs...*

Con el conocimiento anterior se pueden establecer las relaciones:

Relaciones es\_un:

*Nombre\_Relación (Nodo\_origen, Nodo\_Clase)*

es\_un (perro, mamífero)

es\_un (gato, mamífero)

es\_un (humano, mamífero)

es\_un (Ruddolf, perro)

es\_un (Neko, gato)

es\_un (Mónica, humano)

es\_un (Miguel, humano)

Relaciones descriptoras:

*Nombre\_Relación (Propiedad, Nodo)*

temperatura\_sangre (caliente, mamífero)

beben (leche, mamífero)

edad\_de (26años, Mónica), vive\_en (Antiguo\_Cuscatlán, Mónica)

edad\_de (30años, Miguel), vive\_en (Soyapango, Miguel)

color (blanco, Ruddolf), peso (55kg, Ruddolf), vive\_en (Antiguo\_Cuscatlán, Ruddolf)

color (negro, Neko), peso (4kg, Neko), vive\_en (Soyapango, Neko)

dueño\_de(Mónica, Ruddolf)

dueño\_de(Miguel, Neko)

La red semántica del ejemplo se muestra en la figura 1.4.3.

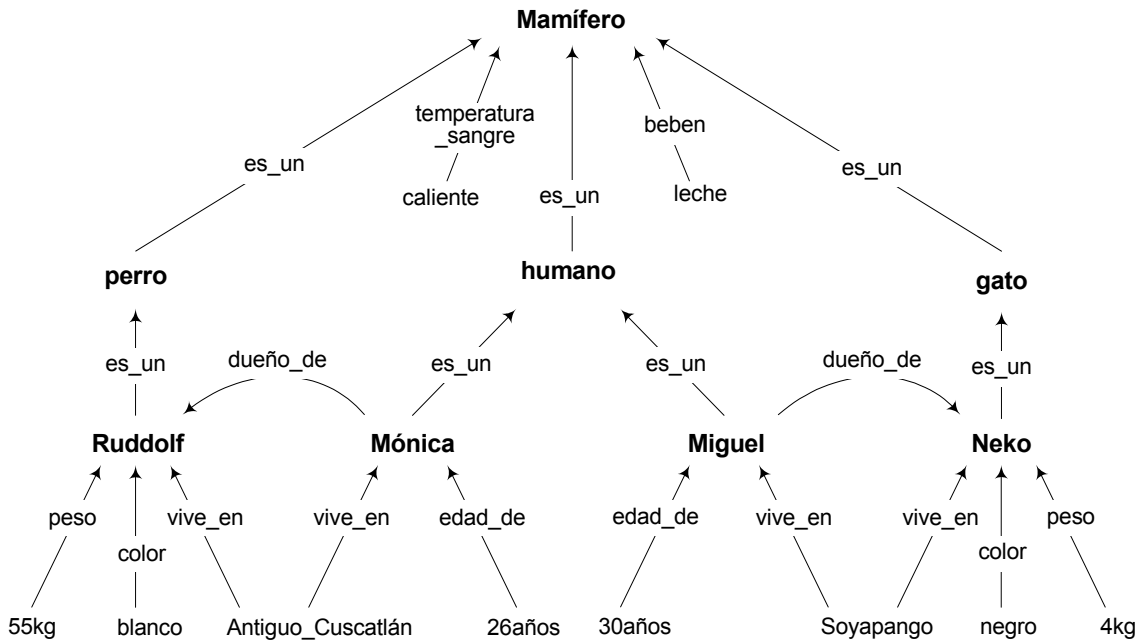


Figura 1.4.3. Ejemplo de red semántica

Supóngase que se desea representar el hecho de que “ ... Mónica es menos pesada que Miguel...”, se deberá crear en la red semántica la siguiente relación: menos\_que (P1, P2)

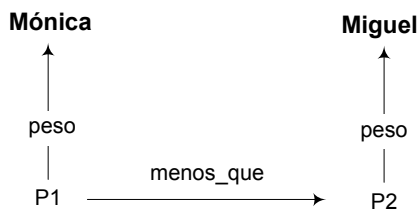


Figura 1.4.4. Relación menos\_que (P1, P2)

Ya que no se cuenta con más información, los nuevos nodos P1 y P2 representan el peso de Mónica y Miguel, y así se puede representar algunos hechos como la diferencia de peso de entre ambos. Esta técnica es muy útil para representar el conocimiento de una oración declarativa que describa aspectos de un evento.

Si se desea representar posteriormente que Mónica pesa 60 kgs. y Miguel 78 kgs. será útil crear la relación *valor*, para mantener la distinción del hecho en la red semántica anterior.

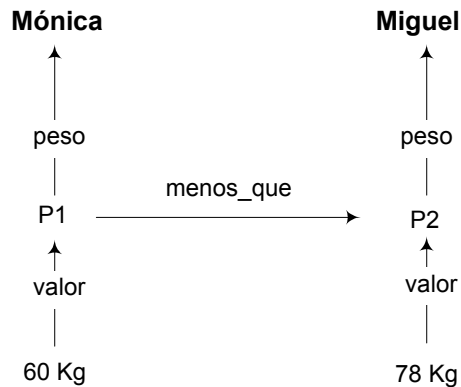


Figura 1.4.5. Relación *valor* (60kg, P1) y *valor* (78kg, P2)

---

La red semántica nos representa los pesos de Mónica y Miguel, y el hecho de que Mónica pesa menos que Miguel.

### Proceso de inferencia

La inferencia se realiza a través de un proceso de exploración de la red con el objetivo de buscar subredes que encajen con la estructura representativa de la pregunta dentro del dominio. Este proceso se realiza por medio de:

- La herencia, que es muy utilizada en este modelo. Cualquier propiedad que se declare para una clase, deberá ser cierta para cualquier elemento de esa clase.
- Y las reglas que posibilitan las deducciones adicionales, deben formularse fuera de la red semántica.

*Ejemplo 1.4.9: Inferencia en redes semánticas.*

A través de la herencia y las relaciones se pueden contestar a preguntas como:

*¿Mónica es menos pesada que Miguel?*

$\text{peso}(A, B) \wedge \text{peso}(X, Y) \wedge (A < X) \rightarrow \text{menos\_que}(B, Y)$ . La regla dice que A es el peso de B y X es el peso de Y y A es menor que X, entonces B es menos que Y.

Para este ejemplo:

valor (60Kg, P1)  $\rightarrow$  P1 = 60 kgs. y valor (78Kg, P2)  $\rightarrow$  P2 = 78 kgs.

60 kgs. es el valor de P1 y 78 kgs. es el valor de P2.

peso (P1, Mónica)  $\wedge$  peso (P2, Miguel)  $\wedge$  (P1 < P2)  $\rightarrow$  menos\_que (Mónica, Miguel)

P1 es el peso de Mónica y P2 es el peso de Miguel y P1 es menor que P2, entonces Mónica pesa menos que Miguel.

*¿Es Ruddolf un mamífero?*

es\_un (A, B)  $\wedge$  es\_un (B, C)  $\rightarrow$  es\_un (A, C). La regla dice que si A es B y B es C, entonces A es C.

Para este ejemplo:

es\_un (Ruddolf, perro)  $\wedge$  es\_un (perro, mamífero)  $\rightarrow$  es\_un (Ruddolf, mamífero)

Ruddolf es un perro y un perro es un mamífero, entonces Ruddolf es un mamífero.

*¿Cuál es la relación de Neko con Miguel?*

Esta pregunta puede ser contestada de dos formas:

dueño\_de(Miguel, Neko)

Miguel es dueño de Neko

es\_un (A, C)  $\wedge$  es\_un (B, C)  $\rightarrow$  es\_un (A, B, C). La regla dice que si A es C y B es C, entonces A y B es C.

Para este ejemplo:

(es\_un (Neko, gato)  $\wedge$  es\_un (gato, mamífero))  $\wedge$  (es\_un (Miguel, humano)  $\wedge$  es\_un (humano, mamífero))  $\rightarrow$  es\_un (Miguel, mamífero)  $\wedge$  es\_un (Neko, mamífero)  $\rightarrow$  es\_un (Miguel, Neko, mamífero)

Si Neko es un mamífero y Miguel es un mamífero, entonces Miguel y Neko son mamíferos

La idea de las redes semánticas surgió como un modo de representación etiquetada entre entidades. Pero al ampliar el alcance que debe soportar la representación, fue necesario asignarle una representación más estructurada tanto a los nodos como a las relaciones, que le permitiera además activar procedimientos. A esta especialización de las redes semánticas se le conoce como frames (marcos), que se estudian a continuación.

#### 4.3.4 FRAMES

Este modelo fue propuesto por Misky en 1975, llamado también **marcos**. Se basa en el supuesto que la memoria humana se basa en estereotipos (propiedades físicas de los objetos).

Los frames representan un objeto o situación descrito por un conjunto de atributos que poseen. Los experimentos psicológicos indican que las personas utilizan grandes frames para codificar el conocimiento de experiencias, o conocimiento de cosas que se encuentran comúnmente, para analizar y explicar una situación nueva en su cotidiana actividad cognoscitiva.

#### Representación del conocimiento

Podemos describir un frame como una estructura con compartimientos en los que se guarda información que representa un objeto.

Esta estructura se compone de:

- *Nombre*: Nombre del frame.
- *Atributos (slots)*: Conjunto de campos de información que describen el frame. Los slots están compuestos de:
  - *Nombre (A)*.
  - *Valor (V)*.
  - *Restricciones (C)*. También llamadas *facetas (facets)*. Cada *slot* puede contener uno o más *facetas*. Las restricciones válidas incluyen:
    - *Valores asociados*, estos puede ser:
      - Value (valor)*: Indica que el contenido del slot es su valor literal.
      - Default*: El contenido del slot es un valor por defecto (solo se devuelve si no está definido el *facet value*).
      - Range (Rango)*: Conjunto de valores posibles que pueden ser formados por los slot.
    - *Demonios* (también denominados *procedimientos*), residen en la base de datos y están aguardando para ser utilizados cuando se les necesite, tales como:
      - IF-NEEDED (Si-Necesitado)*: Procedimiento para determinar el valor actual de un slot.

*IF-ADDED (Si-Agregado)*: Procedimiento a ejecutarse cuando un valor es especificado para un slot.

*IF-REMOVED (Si-Remover)*: Procedimiento a ejecutarse si el valor de una slot es cambiado.

Los demonios proporcionan la habilidad de combinar conocimiento procedimental dentro de la estructura de conocimiento *declarativo* del frame, especialmente importante si se implementa en una red de frames.

Los sistemas frames razonan acerca de las clases de objetos usando representaciones prototípicas, pero pueden modificarse para capturar las complejidades del mundo real.

Un frame se puede expresar de la siguiente forma:

Frame(NombreFrame,S)

Donde S es el conjunto de Slots con la forma:

Slot(A,V,C)

Por lo que un frame puede representarse completamente por la forma:

Frame(NombreFrame,[Slot(A<sub>1</sub>,V<sub>1</sub>,[C<sub>1,1</sub>,C<sub>1,2</sub>,... C<sub>1,n</sub>]),  
 Slot(A<sub>2</sub>,V<sub>2</sub>,[C<sub>2,1</sub>,C<sub>2,2</sub>,... C<sub>2,n</sub>]), ...  
 Slot(A<sub>m</sub>,V<sub>m</sub>,[C<sub>m,1</sub>,C<sub>m,2</sub>,... C<sub>m,n</sub>])  
 ])

**Nombre del frame: NombreFrame**

Nombre del atributo (A)	Valor del atributo (V)	Restricciones o facets (C)
Atributo 1 (A1)	Valor 1 (V1)	Restricción 1.1 (C1,1)
Atributo 2 (A2)	Valor 2 (V2)	Restricción 2.1 (C2,1)
...	...	...
Atributo m (Am)	Valor m (Vm)	Restricción m.n (Cm,n)

Figura 1.4.6. Representación gráfica de un frame

*Ejemplo 1.4.10. Representación del conocimiento por medio de frames.*

Representar el siguiente conocimiento de la conferencia de Linux, a través de frames:

*Se realizarán el 06 de noviembre de 2003 en la UES, específicamente en la FIA varias conferencias sobre Linux, una de ellas esta orientada a principiantes, en una primera parte se abordará la “instalación de Linux Mandrake”, esta se efectuará de 2:00 p.m. a 2:45 p.m. La segunda parte tratará sobre “Utilidades de Linux Mandrake”, iniciará a las 3:00 p.m. y durará 2 horas, ambas se realizarán en el Salón El Espino.*

*La otra conferencia trata sobre “Desarrollo y seguridad en Linux” y estará dirigida a usuarios avanzados, comenzará a las 3:00 p.m. y finalizará a las 6:00 p.m., el local donde se realizara esta conferencia puede ser el B11, C11 o el D11, aun no esta definido por los organizadores...*

El conocimiento se representa mediante las siguientes estructuras:

```
Frame(conferencia_linux, S)
```

```
Frame(conferencia_linux,  
      [Slot(fecha, 06 de noviembre de 2003, [ ])  
      Slot(lugar, FIA de la UES, [ ])  
      ])  
Frame(conferencia_avanzados,  
      [Slot(es_un, conferencia_linux, [ ])  
      Slot(local, L, [ range(B11, C11, D11), default(B11) ])  
      Slot(tema, “Desarrollo y seguridad en Linux”, [ ])  
      Slot(hora_inicio, 3:00pm, [ ])  
      Slot(hora_fin, H, [ IF-NEEDED (f_duración (hora_inicio, hora_fin)) ])  
      Slot(duración, 3 horas, [ ])  
      ])  
Frame(conferencia_principiantes,  
      [Slot(es_un, conferencia_linux, [ ])  
      Slot(local, Salón El Espino, [ ])  
      ])  
Frame(conferencia_parte1,  
      [Slot(es_un, conferencia_principiantes, [ ])  
      Slot(tema, “Instalación de Linux Mandrake”, [ ])  
      Slot(hora_inicio, 2:00pm, [ ])
```



```
Slot(hora_fin, 2:45pm, [ ])  
Slot(duración, D, [ IF-NEEDED (f_duración (hora_inicio, hora_fin)) ])  
])  
Frame(conferencia_parte2,  
      [Slot(es_un, conferencia_principiantes, [ ])  
      Slot(tema, "Utilidades de Linux Mandrake", [ ])  
      Slot(hora_inicio, 3:00pm, [ ])  
      Slot(hora_fin, H, [ IF-NEEDED (f_horaf (hora_inicio, duración)) ])  
      Slot(duración, 2horas, [ ])  
])  
función f_horaf (HI, D) [  
    retornar (HI + D)  
]  
función f_duración (HI, HF) [  
    retornar (HF - HI)  
]
```

Además el conocimiento de estos frames se puede representar gráficamente, como se muestra en la figura 1.4.6.

## Proceso de inferencia

La inferencia en los frames se realiza a través de los mecanismos de búsqueda automática de un dato que no se encuentra en el propio frame. Estos mecanismos son: **la herencia y los demonios**.

**1. Herencia:** Mediante una relación de jerarquía, busca el dato solicitado en otros frames. La herencia cumple las siguientes reglas:

- Si A tiene una relación de instancia o de subclase con B, los atributos de A que no tengan ningún valor lo toman de los que tengan esos mismos atributos en B.
- Una relación de instancia se define a través del atributo IS-A (es un). Su valor será el nombre del frame del que hereda.
- Una relación de subclase se define a través del atributo AKO (a kind of).
- En una cadena de herencia puede haber varios atributos AKO, pero sólo uno IS-A

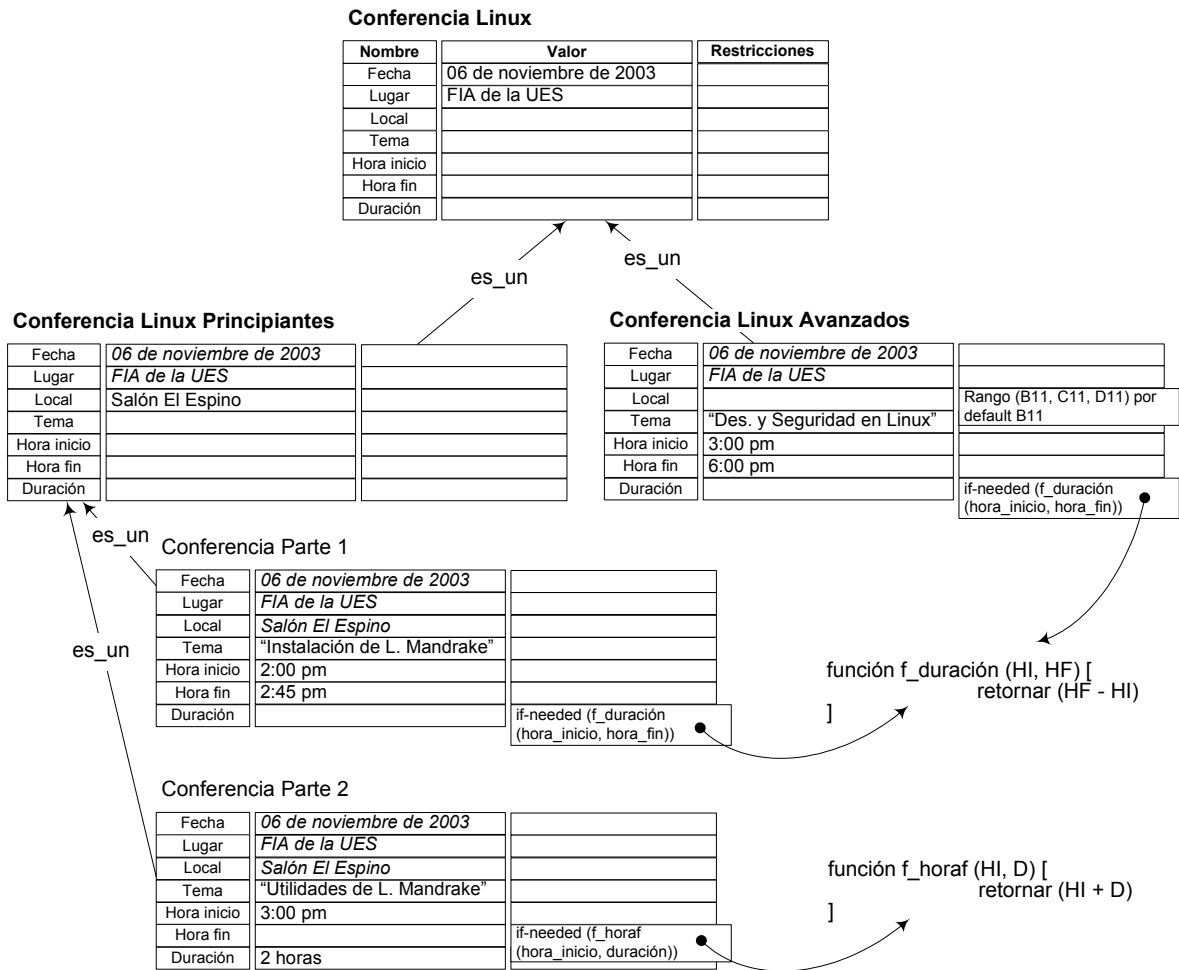


Figura 1.4.7 Representación gráfica de frame del ejemplo 1.4.10.

**Ejemplo 1.4.11. Herencia en frames.**

Los frames permiten estructurar el conocimiento (ver figura 1.4.7) de forma que se pueda responder a preguntas como: *¿En que local se realizará la conferencia de Linux?*

A partir de la regla: Si A (conferencia\_linux) tiene una relación de instancia o de subclase con B (conferencia\_avanzados ^ conferencia\_principiantes), los atributos de A (Slot (local, [ ], [ ])) que no tengan ningún valor lo toman de los que tengan esos mismos atributos en B (Slot(local, L, [ range(B11, C11, D11), default(B11) ]) ^ Slot(local, Salón El Espino, [ ])).

La solución es: Salón El Espino y el B11.

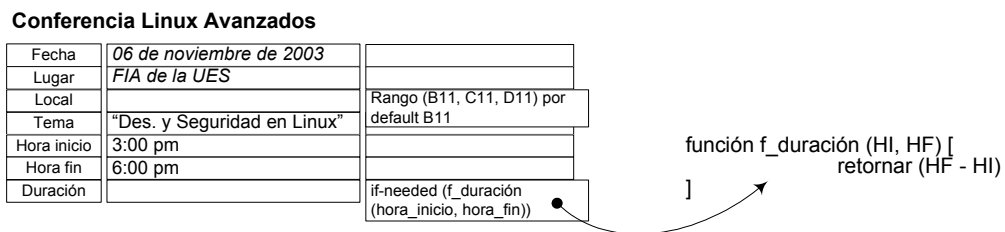
**2. Demonios:** Procedimientos que son llamadas automáticamente cuando se hace referencia a ciertos datos. Los demonios cumplen las siguientes reglas:

- Un demonio tiene dos parámetros: frame y slot.
- IF-NEEDED se activa al intentar recuperar el valor de un slot que no tiene ningún valor asociado. Proporciona la información requerida ejecutando un algoritmo.
- El demonio ASK pregunta al usuario el valor de un atributo.
- IF-ADDED se activa después de asignar un valor a un slot y el borrado de un valor mediante un procedimiento IF-REMOVED.

*Ejemplo 1.4.12. Demonios en frames.*

Si se desea conocer *¿Cuál es la duración de la conferencia de Linux dirigida a usuarios avanzados?*

El slot *“Duración”* sin información, debe obtener el valor por medio del procedimiento IF-NEEDED. Este procedimiento activa una función (f\_duración) para calcular el valor, además este valor se puede extraer de una base de datos o solicitarlo al usuario mediante un dialogo (demonio ASK).



*Figura 1.4.8 Activación del demonio IF-ADDED.*

La función f\_duración devuelve el valor del slot *“Duración”*, que es: 1 hora y 45 minutos. Después se activará el demonio IF-ADDED para agregar ese valor.

### 4.3.5 SISTEMAS DE PRODUCCION

Los sistemas de producción fueron propuestos por Newell y Simon en 1972 como producto del desarrollo del GPS. El GPS fue un intento de crear un sistema inteligente general y una teoría sobre como resuelven los humanos los problemas (Newell, 1992).

#### Representación del conocimiento

El modelo representa el conocimiento humano en forma de producciones. Por esta razón es que también se conoce como **reglas de producción**. Se asemeja al proceso de memoria humana: memoria a corto plazo (deducciones intermedias) y memoria a largo plazo (producciones).

Los elementos que conforman un sistema de producción son:

- *Producciones* (Memoria a largo plazo)
- *Interprete de reglas* (Motor de inferencia)
- *Memoria de trabajo* (Memoria a corto plazo)

La memoria a largo plazo consiste de un conjunto de producciones que son continuamente comparados con la situación actual del sistema, representada en la memoria de trabajo.

El modelo consiste en la manipulación de estructuras de símbolos en el que se tiene:

- Un conjunto N de **nombres** de objetos en el dominio.
- Un conjunto P de **propiedades** que representan atributos de los objetos.
- Un conjunto V de **valores** que los atributos pueden poseer.

Generalmente se usa una tripleta: <objeto, atributo, valor>.

#### Proceso de inferencia

Las inferencias se hacen a través del interprete de reglas El interprete de reglas es el que controla la actividad del sistema, decidiendo qué reglas se aplicarán. Normalmente, las reglas se denotan como:

$$C_1, C_2, \dots, C_n \rightarrow A_1, A_2, \dots, A_n$$

Que significa:

Si las condiciones  $C_1, C_2, \dots, C_n$  se cumplen ENTONCES realiza las acciones  $A_1, A_2, \dots, A_n$ .  
Donde las condiciones  $C_1, C_2, \dots, C_n$  pueden estar separados por O ó Y.

Las reglas deben cumplir con las siguientes propiedades:

- Modularidad. Cada regla define una pequeña y relativamente independiente parte del conocimiento.
- Incrementalidad. Nuevas reglas pueden ser añadidas a memoria a largo plazo.
- Adaptabilidad. Las reglas que se consideren obsoletas pueden ser modificadas.
- Transparencia. Habilidad para explicar sus decisiones y soluciones.

*Ejemplo 1.4.13. Representación de conocimiento e inferencia en reglas de producción.*

*Claudia Hernández desea saber si debe invertir en acciones en una empresa de telecomunicaciones "Te comunica", si ella tiene 25 años y posee \$30,000.*

*Se sabe que si una persona gana más de \$120,000 al año debe invertir en acciones, y el lugar más recomendable para hacerlo es "Te comunica".*

*Si una persona tiene \$30,000 y grado de licenciatura debe invertir a plazo fijo, y si es menor de 30 años debe invertir en acciones. Además se afirma que si una persona esta entre 24 y 30 años tiene nivel de licenciatura*

Se representa el conocimiento mediante las siguientes reglas y hechos.

Reglas:

R1: Si una persona tiene \$30,000 y tiene grado de licenciatura  
Entonces debe de invertir a plazo fijo

R2: Si una persona gana más de \$120,000 al año y tiene licenciatura  
Entonces debe de invertir en acciones

R3: Si una persona esta entre 24 y 30 años y está invirtiendo a plazo fijo  
Entonces debe invertir en acciones

R4: Si una persona esta entre 24 y 30 años  
Entonces tiene nivel licenciatura

R5: Si una persona quiere invertir en acciones  
Entonces debe de invertir en Te comunica

Hechos:

Claudia Hernández tiene \$30,000 y 25 años  
*¿Debe de invertir en Te comunica?*

Asignación de reglas

A = tiene \$30,000  
B = entre 24 y 30 años  
C = educación nivel licenciatura  
D = salario anual mayor de \$120,000  
E = invertir a plazo fijo  
F = invertir en acciones  
G = invertir en Te comunica

Búsqueda por encadenamiento hacia adelante

$R_1: A \wedge X \Rightarrow E$   
 $R_2: X \wedge C \Rightarrow F$   
 $R_3: B \wedge E \Rightarrow F$   
 $R_4: B \Rightarrow C$   
 $R_5: B \Rightarrow G$

Para realizar la inferencia se debe complementar con la pregunta:

*¿Cual es su ingreso anual?*

Ya que se desea conocer si es mayor a \$120,000, porque como se sabe que Claudia Hernández tiene nivel de licenciatura, si la respuesta a la pregunta anterior es que ella gana más de \$120,000 al año, se le recomienda invertir en acciones. Invertir en Te comunica.

Explicación de la solución:

Como Claudia Hernández tiene \$30,000 y su edad es de 25 años, se sabe ( $R_4$ ) que tiene nivel licenciatura. Se conoce ( $R_1$ ) que ella debe invertir a plazo fijo. Además si invierte a plazo fijo ( $R_3$ ) debe invertir en acciones. Finalmente si ella quiere invertir en acciones se recomienda ( $R_5$ ) que invierta en Te comunica.

### 4.3.6 REDES NEURONALES

Desde el punto de vista científico es una de las áreas más importantes de la IA. Propuesto por McCulloch y Pitts en 1943 se le considera como uno de los modelos que más se aproxima al sistema biológico neuronal humano.

Biológicamente, las neuronas se componen básicamente de tres partes (ver figura 1.4.9): soma, axón y dendritas. En forma esquemática, las dendritas actúan como antenas que reciben los contactos de otras neuronas. El soma integra toda la información obtenida en las dendritas. Luego, el axón transmite a otras células el mensaje resultante.

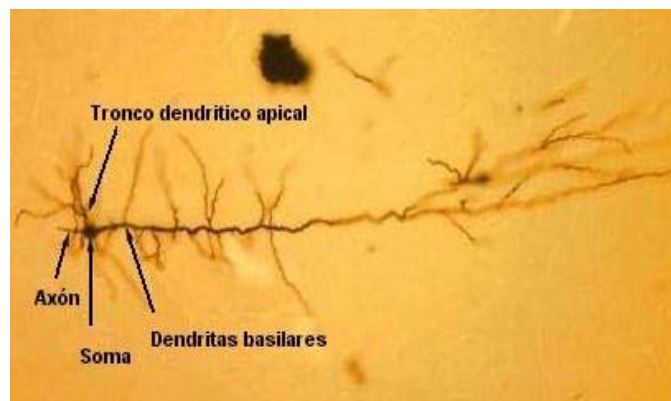


Figura 1.4.9. Componentes de la neurona.

---

Algunas características del comportamiento fisiológico de las neuronas:

- Las neuronas pueden recibir muchas entradas (señales eléctricas generadas por procesos químicos), que pueden ser modificadas por los pesos de las dendritas que las reciben.
- El procesamiento de información es local.
- Los pesos pueden ser inhibidores o excitadores.
- Los pesos de las dendritas pueden ser aprendidos a través de la experiencia.

Una de las cosas que hace importante el estudio de las neuronas es que son las responsables de la memoria humana. Se ha observado que la memoria es distribuida, y está compuesta por señales (memoria a corto plazo) y pesos de las dendritas (memoria a largo plazo).

El modelo representa las redes neuronales por medio de **nodos**, que están unidos mediante **conexiones**. Cada conexión tiene asignado un **peso numérico**. De forma análoga que con el

sistema nervioso humano, los pesos constituyen el principal recurso de memoria a largo plazo en las redes neuronales, y el aprendizaje usualmente se realiza con la actualización de tales pesos. Los pesos en las redes neuronales pueden asignarse de tres formas:

- Supervisada. La red ajusta los pesos para llegar a una respuesta que anticipadamente se le dio.
- No supervisada. No se le pide una respuesta específica. La red organiza los pesos como quiera.
- Con pesos fijos. La red devuelve una respuesta a partir de las entradas y los pesos.

Las redes neuronales tienen las siguientes características:

- Función de activación.
- Arquitectura. Patrón de conexiones entre neuronas.
- Algoritmo de entrenamiento. Método para determinar los pesos de conexión.

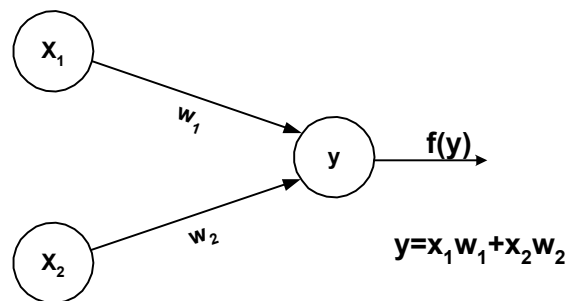


Figura 1.4.10. Red neuronal simple y su función de entrada.

---

El cálculo está dividido en dos componentes: **función de entrada** y **función de activación**. La función de entrada es *lineal*, calcula la suma del producto de los valores de entrada por los pesos de la conexión. Las funciones de activación son las que convierten el resultado de la función de entrada en el valor final de activación del nodo  $i$ . Se prestará más atención a la función de activación por ser la que determina la capacidad de una red neuronal.

Las funciones de activación más importantes, son las siguientes:

- Identidad:  $f(y) = y$
- Escalón binario:  $f(y) = \begin{cases} 1, & \text{si } y \geq \theta \\ 0, & \text{si } y < \theta \end{cases}$



- Escalón triple:  $f(y) = \begin{cases} 1, & \text{si } y > \theta \\ 0, & \text{si } -\theta < y < \theta \\ -1, & \text{en cualquier otro caso} \end{cases}$
- Signo:  $f(y) = \begin{cases} 1, & \text{si } y \geq 0 \\ -1, & \text{si } y < 0 \end{cases}$
- Sigmoidea binaria:  $f(y) = \frac{1}{1 + e^{-\theta y}}$
- Sigmoidea bipolar:  $f(y) = -1 + \frac{2}{1 + e^{-\theta y}}$
- Tangente hiperbólica:  $f(y) = \frac{e^y - e^{-y}}{e^y + e^{-y}}$

Puede observarse que algunas funciones utilizan la constante  $\theta$  para determinar el valor que tomará la función, a esta constante se le llama **umbral de activación**.

En general, las funciones de activación que permiten representar mayor cantidad de estados se consideran superiores. Por ejemplo, las funciones binarias solamente permiten representar dos estados (1 y 0), mientras que las funciones de escalón triple permite representar tres (-1, 0 y 1).

Por lo general, las redes neuronales se clasifican en dos clases: **redes de alimentación progresiva** y **redes recurrentes**. En las redes de alimentación progresiva (ver figura 1.4.10), las conexiones son progresivas y no hay ciclos. En una red recurrente (ver figura 1.4.18), las conexiones pueden formar topologías arbitrarias.

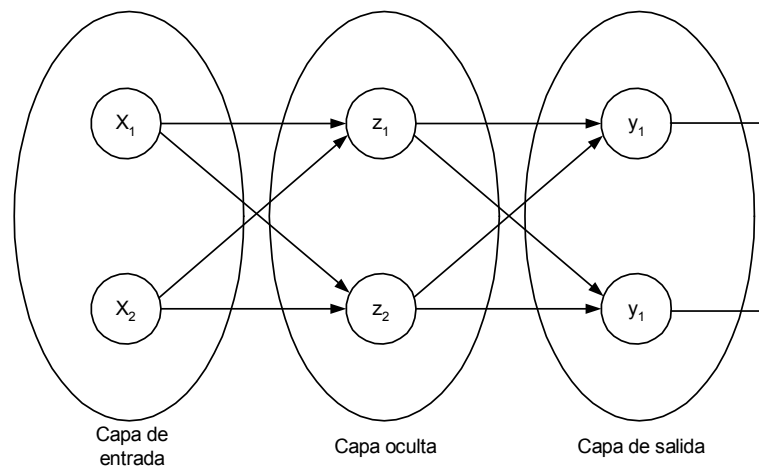


Figura 1.4.11. Red neuronal multicapa.

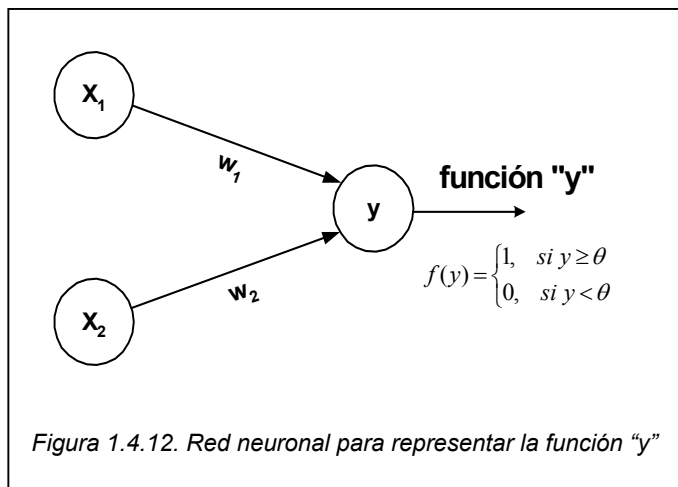
**REDES DE ALIMENTACION PROGRESIVA**

Las redes de alimentación progresiva están configuradas en capas. Cada uno de los nodos está conectado solamente con nodos de la siguiente capa o nivel. En este tipo de arquitectura las capas se dividen en tres categorías: entrada, salida y oculta, como se muestra en la figura 1.4.11. En su forma más simple, una red neuronal solamente estará constituida por la capa de entrada y la de salida. Cuanto más capas ocultas tenga una red, más complejo es el algoritmo de entrenamiento.

*Ejemplo 1.4.14.*

Función "y" lógica de dos entradas.

x <sub>1</sub>	x <sub>2</sub>	f(y)
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1



Función de entrada:  $y = x_1 * w_1 + x_2 * w_2$

Función de activación: escalón binario

Para  $\theta=1$ ,  $w_1=1$  y  $w_2=1$ , se tiene:

x <sub>1</sub>	w <sub>1</sub>	x <sub>2</sub>	w <sub>2</sub>	y	f(y)
0	1	0	1	0	0
0	1	1	1	1	1
1	1	0	1	1	1
1	1	1	1	2	1

Las salidas obtenidas no corresponden a la función "y". Para que la red pueda representar esta función se tienen dos opciones: modificar los pesos hasta encontrar los valores correctos o modificar el umbral de activación.

Si se opta por modificar los pesos, debe observarse que las combinaciones de entrada que generan error son aquellas en las que solamente uno de los dos valores son 1. Se puede entonces reducir los pesos para que al aplicar la función de entrada devuelva un número decimal menor que 1, por ejemplo:  $w_1=0.5$  y  $w_2=0.5$ . Con lo que se tiene:

$x_1$	$w_1$	$x_2$	$w_2$	$y$	$f(y)$
0	0.5	0	0.5	0	0
0	0.5	1	0.5	0.5	0
1	0.5	0	0.5	0.5	0
1	0.5	1	0.5	1	1

Si se opta por modificar el umbral. Por ejemplo:  $\theta=1.5$ .

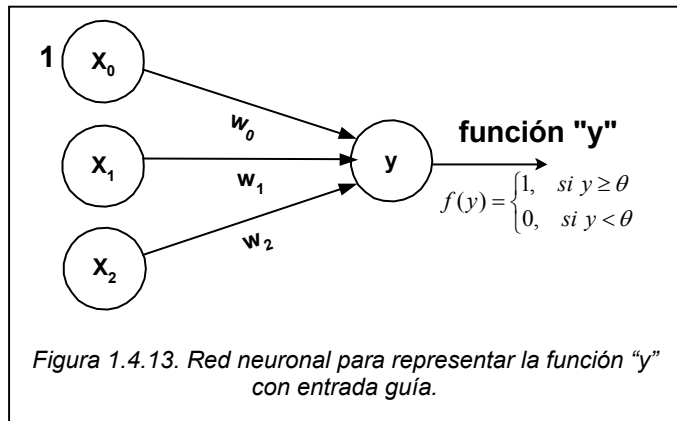
$x_1$	$w_1$	$x_2$	$w_2$	$y$	$f(y)$
0	1	0	1	0	0
0	1	1	1	1	0
1	1	0	1	1	0
1	1	1	1	2	1

Una variante del modelo de McCulloch y Pitts es crear una entrada adicional llamada **guía**, que tiene un valor constante.

*Ejemplo 1.4.15.*

Para el problema anterior, se tiene:

$x_0$	$x_1$	$x_2$	$Y$
1	0	0	0
1	0	1	0
1	1	0	0
1	1	1	1



Lo que hay que asegurar es que la suma de productos  $w_0*x_0+w_1*x_1$  y  $w_0*x_0+w_2*x_2$  sean menor que 1 y que la suma de productos  $w_0*x_0+w_1*x_1+w_2*x_2$  sea mayor o igual que 1. Con lo que se tiene:

Función de entrada:  $y= x_0*w_0+x_1*w_1+x_2*w_2$

Función de activación: función escalón binario

Para  $\theta=1$ ,  $w_0=0.5$ ,  $w_1=0.25$  y  $w_2=0.25$ , tenemos

$x_0$	$w_0$	$x_1$	$w_1$	$x_2$	$w_2$	$y$	$f(y)$
1	0.5	0	0.25	0	0.25	0.5	0
1	0.5	0	0.25	1	0.25	0.75	0
1	0.5	1	0.25	0	0.25	0.75	0
1	0.5	1	0.25	1	0.25	1	1

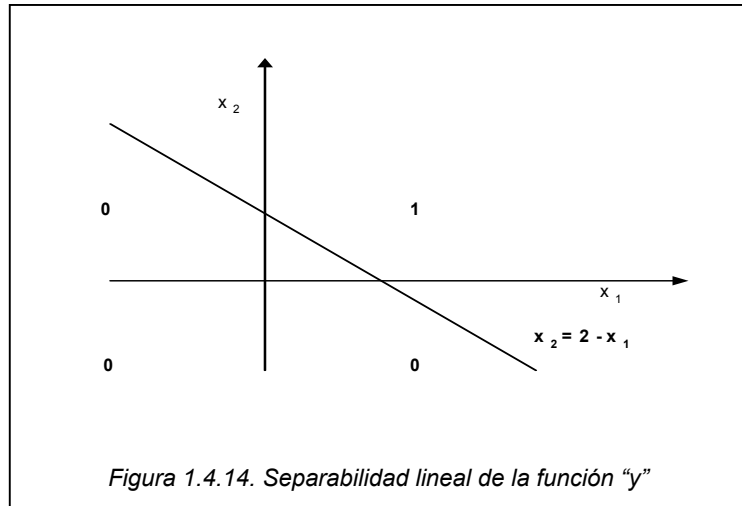
Esta variante es usada para la **clasificación de patrones**. En este tipo de problemas lo que se desea es reconocer son los patrones de comportamiento de un fenómeno para clasificarlos. En su forma más simple, la clasificación de patrones toma una forma lineal, a este tipo de problemas se les llama **linealmente separables**. Se puede clasificar linealmente los patrones del ejemplo anterior de la siguiente forma:

El punto crítico de la función de activación es el umbral de activación, en este caso 1.

$$\theta = x_0 * w_0 + x_1 * w_1 + x_2 * w_2$$

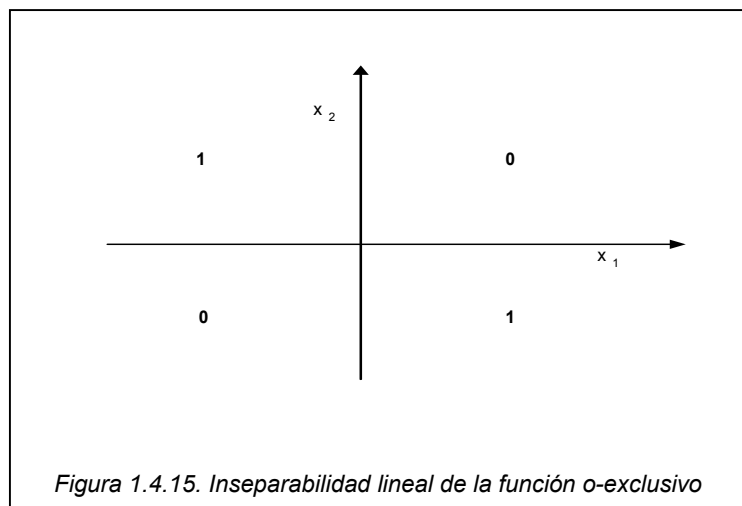
$$1 = 0.5 + 0.25x_1 + 0.25x_2$$

$$x_2 = 2 - x_1$$



En el plano  $x_2-x_1$ , pueden separarse los valores para los que la función "y" devolverá el valor del caso base (1,1). A la recta que separa los valores de salida se le llama **línea de decisión**.

Hay problemas que no son linealmente separables, por lo que habrá que acudir a métodos más complejos para resolverlos, como un ejemplo de ello tenemos la función o-exclusivo o *xor*.



### **APRENDIZAJE (Algoritmos de entrenamiento)**

En su mayoría, los algoritmos de entrenamiento se basan en la **regla de Hebb**.

La regla de Hebb consiste en crear **vectores de entradas** ( $s$ ) y un **vector de entrenamiento** ( $t$ ). Este último contiene los valores de salida deseados. Se inicializan los pesos de las dendritas a 0 y se sigue el siguiente algoritmo:

*Cuadro 1.4.4. Algoritmo de la regla de Hebb.*

```
desde j=0 hasta n
  desde i=0 hasta m
    hacer  $x_i = s_i$ 
  hacer  $y = t(j)$ 
  desde i=0 hasta m
     $w_i(\text{nuevo}) = w_i(\text{anterior}) + x_i * y$ 
```

Donde:

$x_i$  es la  $i$ -ésima neurona de entrada

$t(j)$  es el elemento  $j$  del vector de entrenamiento que corresponde a los valores de los vectores de entradas  $s_i$

$n$  es el número elementos del vector de entrenamiento, y

$m$  es el número de vectores de entradas.

#### *Ejemplo 1.4.16.*

Para poner un ejemplo, se modificará la representación del problema anterior. Se utilizará una función de activación signo, por lo que el valor 0 se representará con  $-1$ .

$s_0$	$s_1$	$s_2$	T
1	1	1	1
1	1	-1	-1
1	-1	1	-1
1	-1	-1	-1

Debe observarse que el entrenamiento se inicia desde el caso base del problema, es decir; la combinación (1,1) de  $x_1$  y  $x_2$ .

$w_0$	$w_1$	$w_2$	$x_0$	$x_1$	$x_2$	$y$
0	0	0	1	1	1	1
1	1	1	1	1	-1	-1
0	0	2	1	-1	1	-1
-1	1	1	1	-1	-1	-1
-2	2	2				

La regla de Hebb produce un producto vectorial de  $Sxt$ , donde  $S$  es una matriz de entrada formada por los vectores de entrada ( $s$ ). El resultado es el vector de pesos buscado.

Cuando se utilizan funciones de activación en la que el umbral no está definido, la red puede elegir el mejor valor para el umbral una vez identificados los pesos.

$$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & -1 & -1 \\ 1 & -1 & 1 & -1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 1 \\ -1 \\ -1 \\ -1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -2 \\ 2 \\ 2 \end{bmatrix}$$

La regla de Hebb por sí sola no garantiza el aprendizaje. Por esto se han desarrollado otros métodos de aprendizaje que si lo garantizan a la vez que mejoran la eficiencia de los métodos.

## **Perceptrons**

Este algoritmo utiliza una función de activación escalón triple, por lo que permite representar tres estados (1, 0 y -1). Se inicializan los pesos a 0, o a un valor generado aleatoriamente. La regla de aprendizaje se basa en modificar el peso entre dos nodos hasta que el peso produzca la salida deseada en el nodo que recibe la conexión.

*Cuadro 1.4.5. Algoritmo Perceptrons.*

```
desde j=0 hasta n
  i=0
  hacer
    salir=cierto
     $x_i = s_i$ 
     $y = \sum x_i * w_i$ 
     $y = f(y)$ 
    si  $y \neq t_j$ 
      entonces:  $w_i(\text{nuevo}) = w_i(\text{anterior}) + \alpha * t_j * x_i$ 
                salir=falso
                i=i+1
  hasta que salir=cierto.
```

Donde:

$\alpha$  es la razón de aprendizaje que se fija arbitrariamente y que típicamente toma valores entre 0 y 1.

$x_i$  es el nodo de entrada  $i$ ,

$t_j$  es el elemento  $j$  del vector de entrenamiento, y

$n$  es el número de elementos del vector de entrenamiento.

Este modelo, permite clasificar patrones que no son linealmente separables, como el caso de la función *xor*.

### **Adaline**

El nombre es un acrónimo de Adaptive Linear Network (redes lineales adaptativas). Utiliza una función de activación del tipo signo. La regla de aprendizaje se basa en modificar el peso entre dos nodos si la diferencia entre el peso anterior y el peso nuevo es muy grande. Típicamente, los pesos son fijados a un valor aleatorio muy pequeño.

Cuadro 1.4.6. Algoritmo Adaline.

```
desde j=0 hasta n
  i=0
  hacer
    salir=cierto
     $x_i = s_i$ 
     $y = \sum x_i * w_i$ 
     $w_i(\text{nuevo}) = w_i(\text{antiguo}) + \alpha * (t_j - y) * x_i$ 
    si  $w_i(\text{nuevo}) - w_i(\text{antiguo}) > \beta$ 
      entonces: salir=falso
                i=i+1
  hasta que salir=cierto
```

Donde:

$\alpha$  es la razón de aprendizaje que se fija arbitrariamente y que típicamente toma el valor de 0.1.

$x_i$  es el i-ésimo nodo de entrada,

$\beta$  es el factor de tolerancia de la diferencia entre el peso anterior y el peso calculado.

$t$  es el vector de entrenamiento, y

Las redes Adaline se basan en la **regla delta**, que trata de minimizar la propagación cuadrática de errores en los cálculos asociados al entrenamiento.

- El error cuadrático tiene la siguiente forma:

$$E = (t - y)^2$$

- La minimización del error se hace de la siguiente forma:

$$E' = -2(t - y)x_i$$

- De donde se puede generalizar a:

$$E' = a(t - y)x_i$$



## ASOCIACION DE PATRONES

Hasta ahora se han visto problemas en los que solamente se tiene un vector de salidas para clasificar los patrones de comportamiento. En la asociación de patrones el objetivo es identificar una relación de entre los patrones de comportamiento de varios vectores de salida.

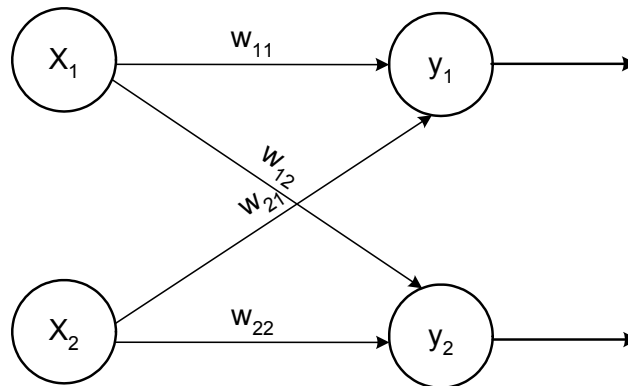


Figura 1.4.16. Red neuronal de realimentación progresiva NN.

La regla de Hebb para la asociación de patrones se basa en la regla general, descrita anteriormente. Los pesos  $w_{ij}$  se inicializan a 0, posteriormente se sigue el algoritmo mostrado en el cuadro 1.4.7.

Cuadro 1.4.7. Algoritmo de la regla de Hebb para asociación de patrones.

```
desde j=0 hasta n
  desde i=0 hasta m
    hacer  $x_i = s_i$ 
  hacer  $y_j = t_j$ 
  desde i=0 hasta m
     $w_{ij}(\text{nuevo}) = w_{ij}(\text{anterior}) + x_i * y_j$ 
```

Donde:

$x_i$  es el i-ésimo nodo de entrada, y

$t_j$  es el vector de entrenamiento  $j$

Expresado en producto de matrices:  $S \times T$ , donde  $S$  es una matriz creada con los vectores de entradas  $s_i$  y  $T$  es la matriz creada con los vectores de entrenamiento  $t_i$ . El resultado es una matriz  $W$  con los pesos buscados.

*Ejemplo 1.4.17.*

$s_1$	$s_2$	$t_1$	$t_2$
1	-1	1	-1
-1	1	-1	1
-1	-1		

$$\begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2 & -2 \\ -2 & 2 \\ -2 & 2 \end{bmatrix}$$

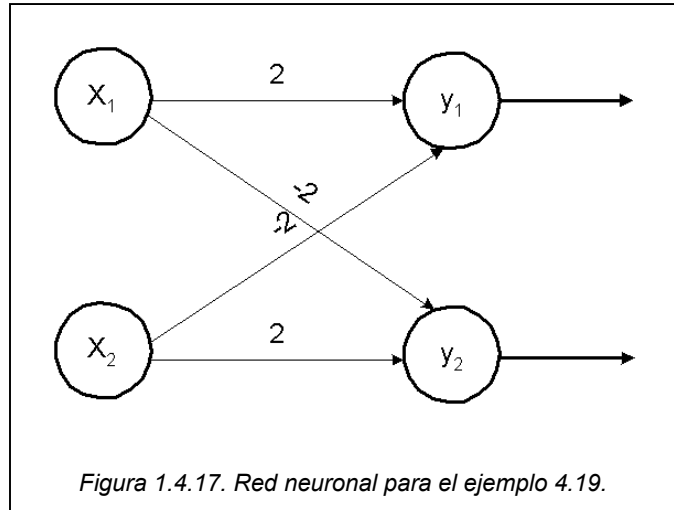


Figura 1.4.17. Red neuronal para el ejemplo 4.19.

Se puede observar que para cuatro pesos se tienen seis valores de  $w_{ij}$ . Los elementos de la matriz  $w_{31}$  y  $w_{32}$  son despreciados.

### REDES RECURRENTE

Una de las redes recurrentes más estudiadas es la **red de Hopfield**. Utiliza conexiones *bidireccionales* con pesos *simétricos*, es decir;  $w_{i,j}=w_{j,i}$ . Todas las neuronas son tanto de entrada como de salida, con una función de activación del tipo signo.

La red de Hopfield funciona como **memoria asociativa**. Al igual que la regla de Hebb, la red de Hopfield utiliza los vectores de entrenamiento y de entradas para el reconocimiento de patrones. Posteriormente, al recibir una entrada nueva la red se estabilizará en un patrón de activación que corresponda a un valor del vector de entradas que "más se parezca" a la nueva entrada recibida. Por ejemplo, si el vector de entrenamiento está formado por un conjunto de fotografías y la nueva entrada es un pequeño fragmento de una de las fotos con las que se entrenó a la red, la red deberá reproducir la fotografía de la que se tomó ese fragmento.

Las redes de Hopfield tienen las siguientes características:

- Representación distribuida: Los pesos se almacenan como un patrón de activación a través de los nodos, pueden estar superpuestos unos sobre otros.
- Control asíncrono distribuido: Cada nodo toma decisiones basadas únicamente en su propia situación local. Todas estas situaciones locales se unen para alcanzar una situación global.
- Memoria direccionable por contenido: Se puede almacenar un determinado número de patrones de una red. Para recuperar un patrón únicamente se necesita una parte específica de él. La red encuentra automáticamente el emparejamiento más próximo.
- Tolerancia a fallos: Aunque algunas de las neuronas de la red fallen, esta todavía funcionará adecuadamente.

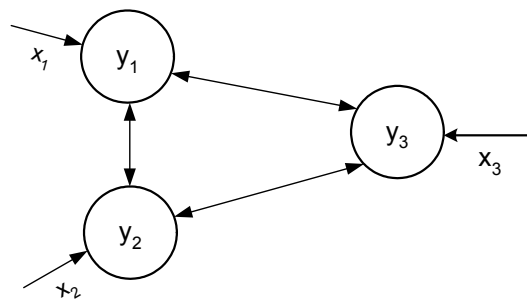


Figura 1.4.18. Red neuronal recurrente.

En la red de Hopfield se inicializan los pesos de las dendritas a 0 siguiendo la regla de Hebb. Posteriormente se sigue el algoritmo que se presenta en el cuadro 1.4.8.

Cuadro 1.4.8. Algoritmo de la regla de Hopfield

hacer para cada vector de entrada  
 $y_i = x_i$   
hacer aleatoriamente para cada  $y_i$   
 $y_i = x_i + \sum y_j w_{ji}$   
calcular  $f(y_i)$   
hasta que se observe convergencia en la red

Supongamos una red neuronal con el vector de entrenamiento (1,-1) y una función de activación signo.

*Ejemplo 1.4.18.*

Para la entrada (0,-1).

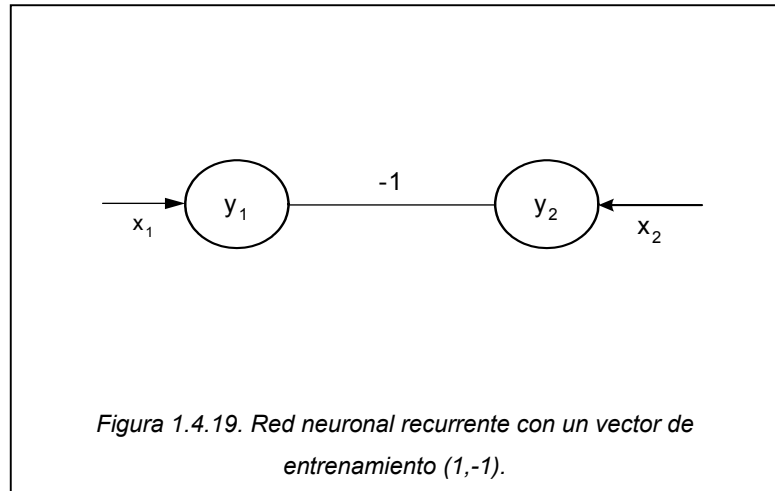
$$y_1 = 0 + (-1)(-1) = 1$$

$$y_2 = -1 + 1(-1) = -2 \rightarrow -1$$

Para la entrada (1, -1).

$$y_2 = -1 + (-1)(-1) = -2 \rightarrow -1$$

$$y_1 = 1 + (-1)(-1) = 2 \rightarrow 1$$



El primer vector de entrada produce una convergencia parcial, solamente uno de los valores se logra mantener. Del resultado de esa primera prueba, se crea el segundo vector de entrada; de donde se logra una convergencia total. La red de Hopfield garantiza la convergencia y tiene la capacidad de “memorizar” aproximadamente  $n/(2 \cdot \log n)$  patrones, donde  $n$  es el tamaño del vector de entrenamiento.

A lo largo del desarrollo de las redes neuronales se han desarrollado otros modelos para el reconocimiento, asociación y agrupamiento de patrones. En la actualidad son utilizadas no solamente en estas áreas, sino también en el mapeo de entradas sobre salidas y la búsqueda de soluciones a problemas complejos de optimización.

### 4.3.7 LOGICA DIFUSA

La **lógica difusa**, que hoy en día se encuentra en constante evolución, nació en los años 60 como la *lógica del razonamiento aproximado*. En ese sentido es considerada una extensión de la **lógica multivaluada**.

Por medio de la lógica difusa pueden formularse matemáticamente nociones como “un poco caliente” o “muy frío”, para que sean procesadas por computadoras y cuantificar expresiones humanas vagas, tales como "Muy alto" o "luz brillante".

Desarrollado por Lotfi A. Zadeh en 1965, la lógica difusa ha cobrado una gran importancia por la variedad de sus aplicaciones, las que van desde control de procesos industriales complejos, construcción de dispositivos electrónicos de uso doméstico, sistemas de diagnóstico, hasta el diseño de dispositivos artificiales de deducción automática.

La motivación del crear una lógica difusa se genera a partir de que el razonamiento humano utiliza valores que en su mayoría no son determinísticos. El adjetivo *difuso* aplicado a ellas se debe a que los *valores de verdad* no deterministas utilizados en ella tienen, por lo general, una connotación de incertidumbre. Como ejemplo podemos decir: un vaso medio lleno, independientemente de que también esté medio vacío, no está lleno completamente ni está vacío completamente.

El objetivo de todo sistema basado en lógica difusa es describir los grados de los enunciados de salida en términos de los de entrada. Algunos sistemas son capaces de refinar los grados de veracidad de los enunciados de salida conforme se refinan los de entrada.

#### **CONJUNTOS DIFUSOS**

La representación del conocimiento se realiza a través de **conjuntos difusos**. Un *conjunto* es una colección bien definida de elementos, en la que es posible determinar para un objeto cualquiera, en un universo dado, si pertenece o no al conjunto. En un *conjunto difuso* a cada elemento del universo se le asocia un **grado de pertenencia** ( $\mu$ ) a ese conjunto, que es un número entre 0 y 1.

De una manera más formal, un conjunto difuso es una función que asocia a cada elemento de un universo su grado de pertenencia al conjunto. Su dominio es el universo de elementos y su contradominio es el intervalo [0,1]. Nótese que entre más cercano este el valor de la función a 1, más será el grado de pertinencia al conjunto y entre más cercano este el valor de la función a 0, menor será el grado de pertenencia al conjunto.

El grado de pertinencia de un elemento de un conjunto difuso es dependiente del dominio y por lo general subjetivo. Para explicar lo hasta ahora expuesto, se presenta el ejemplo 1.4.19.

*Ejemplo 1.4.19.*

Deseamos determinar cuantas personas estaban empleadas en un mes cualquiera del año 2002 en la zona metropolitana de San Salvador. La pregunta es ¿Cuándo se considera a alguien empleado?. Las siguientes son funciones que representan el concepto de empleado.

1. *Estadística optimista.* Una persona se considera empleada si trabajó en ese mes al menos una hora bajo pago.

Para cada persona  $x$  sea  $t(x)$  el número de horas trabajadas bajo pago en el mes en cuestión.

$$\text{La función de empleado será: } f_E(x) = \begin{cases} 1, & \text{si } t(x) \geq 1 \\ 0, & \text{si } t(x) = 0 \end{cases}$$

2. *Porcentaje de tiempo trabajado.* Una persona se considera como empleada en función del tiempo trabajado en el mes en cuestión.

El tiempo laboral en un mes es igual a 176 horas. La función de empleado será el mínimo que resulte de comparar 1 con la razón  $\frac{t(x)}{176}$ , es decir:  $f_{PT}(x) = \min(1, \frac{t(x)}{176})$ . Esto significa que si una persona ha trabajado más de 176 horas, será calificada como empleada. Si ha trabajado menos de esa cantidad, se le considerará empleado en un  $(\frac{t(x)}{176} \times 100)\%$ .

3. *Porcentaje de ingreso.* Una persona es considerada empleada en un mes cualquiera en la medida que pueda adquirir los bienes de consumo necesarios para ella y su familia.

Sea  $p(x)$  la función que describe el pago que recibe un ciudadano  $x$  por el tiempo trabajado. Si se supone que el costo de la canasta básica se ha estimado en  $M$  dólares al mes por persona. Además, que una persona tiene en promedio 2 dependientes económicos, además de él mismo.

La función de empleado será el mínimo que resulte de comparar 1 con la razón  $\frac{t(x)p(x)}{3M}$ , es decir:  $f_{PI}(x) = \min(1, \frac{t(x)p(x)}{3M})$ .

4. *Ponderación de tiempo e ingreso.* Tanto el tiempo trabajado como el pago recibido por el trabajo realizado determinan si una persona se considera como empleada en un mes cualquiera.

Sean  $a$  y  $b$  coeficientes entre 0 y 1, tales que  $a + b = 1$ . La función de empleado será:

$$f_{PON}(x) = a \cdot f_{PT}(x) + b \cdot f_{PI}(x)$$

Las teorías de conjuntos tradicionales definen el ser miembro de un conjunto como un predicado booleano. En cambio, la teoría de conjuntos difusos permite representar el ser miembro de un conjunto en un grado de pertinencia, que puede tener varias interpretaciones. Del ejemplo anterior se destacan:

1. **Porción en la que posee un atributo.**  $f_{PT}(x)$  es una función de empleado como porción del tiempo laborado.
2. **Medida de creencia.**  $f_{PON}(x)$  es una medida de creencia en la que la selección de los valores  $a$  y  $b$  sesga el énfasis que se le quiera dar al tiempo laborado y al ingreso obtenido.
3. **Probabilidad.** Como una forma adicional, se puede describir el grado de pertinencia de un elemento a un conjunto difuso como una función de probabilidad. Si  $D$  es una variable aleatoria. Para un evento  $x$ ,  $g_D(x)$  es la probabilidad que  $x$  ocurra. Es decir,  $g_D(x) = \text{Prob}(x \in D)$ .

## **OPERADORES DE COMPOSICION DE CONJUNTOS DIFUSOS**

Las **operaciones de composición** de conjuntos difusos son: unión, intersección y complemento. Se describirán los operadores para cada una de las interpretaciones de conjuntos difusos descritas anteriormente.

### **1. Porción en la que posee un atributo**

- *Complemento.* El complemento de un conjunto difuso  $D$ , asigna a cada elemento  $x$  el grado de pertinencia complementario, así:  $\mu_{\bar{D}}(x) = 1 - \mu_D(x)$ .

- *Intersección.* La intersección de dos conjuntos difusos  $D$  y  $E$ , asocia el mínimo de los grados de pertenencia, es decir; para cada elemento  $x$   $\mu_{D \cap E}(x) = \min(\mu_D(x), \mu_E(x))$ .
- *Unión.* La unión de dos conjunto difusos  $D$  y  $E$ , asocia el máximo de los grados de pertenencia, es decir; para cada elemento  $x$   $\mu_{D \cup E}(x) = \max(\mu_D(x), \mu_E(x))$ .

## 2. Medida de creencia

- *Complemento.*  $\mu_{\bar{D}}(x) = 1 - \mu_D(x)$ .
- *Intersección.* Dados los conjuntos difusos  $A$  y  $B$  con grados de pertinencia  $\mu_A$  y  $\mu_B$ , si para un punto dado  $x$ , la suma de  $\mu_A + \mu_B$  es menor que 1, entonces se descarta ese punto como común a ambos conjuntos. En otro caso, se toma como grado de pertinencia a la intersección, a la diferencia  $[\mu_A(x) + \mu_B(x)] - 1$  entre el máximo de  $\mu_A(x)$  y  $\mu_B(x)$ . Es decir:

$$\mu_{A \cap B}(x) = \begin{cases} 0 & \text{si } \mu_A(x) + \mu_B(x) < 1 \\ \frac{\mu_A(x) + \mu_B(x) - 1}{\max(\mu_A(x), \mu_B(x))} & \text{si } \mu_A(x) + \mu_B(x) \geq 1 \end{cases}$$

- *Unión.* Dados los conjuntos difusos  $A$  y  $B$  con grados de pertinencia  $\mu_A$  y  $\mu_B$ , si para un punto dado  $x$ , la suma de  $\mu_A + \mu_B$  es mayor que 1, entonces se dice que ese punto está en la unión. En otro caso, se toma como grado de pertinencia a la unión, al máximo de las razones  $\frac{\mu_A(x)}{1 - \mu_B(x)}$ . Es decir:

$$\mu_{A \cup B}(x) = \begin{cases} 1 & \text{si } \mu_A(x) + \mu_B(x) \geq 1 \\ \max\left(\frac{\mu_A(x)}{1 - \mu_B(x)}, \frac{\mu_B(x)}{1 - \mu_A(x)}\right) & \text{si } \mu_A(x) + \mu_B(x) < 1 \end{cases}$$

## 3. Probabilidad

- *Complemento.*  $\mu_{\bar{D}}(x) = 1 - \mu_D(x)$ .
- *Intersección.* Es la probabilidad de la ocurrencia simultánea de dos eventos. La intersección está muy ligada a la *probabilidad condicional*.



Si se denota a la probabilidad de que ocurra  $A$  dado que ocurre  $B$  como  $Prob(A|B)$  y además se denota  $d$  como la función de probabilidad condicional  $d(A|B)$ , tal que; a cada objeto  $x$  le asocia un valor  $d(A|B)(x)$  de manera que:  
$$d(A|B)(x)\mu_B(x) = d(A|B)(x)\mu_A(x).$$

El grado de pertinencia a la intersección será  $\mu_{A \cap B}(x) = d(A|B)(x)\mu_B(x)$ .

- **Unión.** La probabilidad de que ocurra cualquiera de dos eventos, es la probabilidad de que ocurra uno más la probabilidad de que ocurra el otro menos la probabilidad de que ocurran ambos. 
$$\mu_{A \cup B}(x) = \mu_A(x) + \mu_B(x) - \mu_{A \cap B}(x).$$

### **INFERENCIA Y DEDUCCION**

Los esquemas de razonamiento utilizados son "esquemas de razonamiento aproximado", que intentan reproducir los esquemas mentales del cerebro humano en el proceso de razonamiento. Consisten en una generalización de los esquemas básicos de inferencia en lógica binaria (silogismo clásico).

Para cualquier aplicación de la teoría de conjuntos difusos, se pueden enunciar los métodos de inferencia y deducción como sigue.

Los **conjuntos definibles** son aquellos que se obtienen al aplicar sucesivamente operadores de complemento, unión e intersección a una colección de **conjuntos difusos primitivos**. Si  $A_1, \dots, A_n$  son conjuntos difusos primitivos a los que es posible aplicarles las operaciones de complemento, unión e intersección, los conjuntos definibles son los que resultan de aplicar las siguientes reglas:

1. Todo conjunto primitivo es definible.
2. El complemento de todo conjunto definible, es a su vez definible.
3. La intersección y la unión de dos conjuntos definibles es definible también.

Si  $E = f(A_1, \dots, A_n)$  es un conjunto definible a partir de los conjuntos difusos primitivos  $A_i$ . Cada conjunto difuso primitivo tiene asociada una función  $\mu_{E_i}(x)$ , que le asocia un grado de pertenencia a cada objeto  $x$  del universo. Esta función, se escribe como una composición de los grados de pertenencia de los conjuntos primitivos.

- **Inferencia.** Para un conjunto definible  $E = f(A_1, \dots, A_n)$  y un elemento dado  $x$ , si se sabe que el grado de pertenencia  $\mu_E(x)$  cae en un intervalo  $I$ , y que para algunos conjuntos primitivos  $A_k, A_{k+1}, \dots, A_n$  sus correspondientes grados de pertenencia  $\mu_{A_i}(x)$  caen en intervalos  $[a_i, b_i]$  para  $i=1, \dots, n$ . Se pueden estimar para el resto de conjuntos primitivos  $A_1, A_2, \dots, A_{k-1}$ , en que intervalos  $[a_i, b_i]$  (para  $i=1, \dots, k-1$ ) debieron caer los correspondientes grados de pertenencia  $\mu_{A_i}(x)$ .

Conociendo los valores finales  $\mu_E(x)$  y algunos iniciales  $\mu_{A_i}(x)$  es posible calcular los valores iniciales que tomaron los demás grados pertenencia para obtener el valor final.

- **Dedución.** Para un conjunto definible  $E = f(A_1, \dots, A_n)$  y un elemento dado  $x$ , si se sabe que el grado de pertenencia  $\mu_{A_i}(x)$  cae en un intervalo  $[a_i, b_i]$ , se puede estimar en que intervalo  $I$  ha de caer el grado de pertenencia  $\mu_E(x)$ .

Conociendo los valores iniciales del grado de pertenencia de un conjunto primitivo ( $\mu_{A_i}(x)$ ), es posible calcular los grados de pertenencia de los conjuntos involucrados en el conjunto definible  $E$ , hasta obtener el valor de  $\mu_E(x)$ , a través de los operadores de composición complemento, unión e intersección.

Se abordarán dos de las ampliaciones de la lógica difusa en la lógica formal: el cálculo proposicional difuso y el cálculo de predicados difuso.

### **CALCULO PROPOCIONAL DIFUSO**

En el cálculo proposicional difuso se tiene inicialmente una colección de oraciones atómicas, una serie de conectivos lógicos y reglas definidas (compuestas a partir de las oraciones atómicas). Cada oración puede asumir un valor de verdad que puede ser *falso*, *verdadero* o cualquier otro valor entre esos dos extremos. Cada conectivo lógico tiene asociada una función que determina el valor de verdad de la oración resultante de él, en términos de los valores de verdad de las oraciones que la componen.

Se llaman *valuaciones* al conjunto de valores que puede tomar una oración, es decir; al conjunto de valores de verdad. Un conjunto de valuaciones  $v$  puede ser discretas o continuas.

*Ejemplo 1.4.20.*

- Como ejemplo de un conjunto de valuaciones discretas, se tiene:

Bajo el enfoque de la medida de creencia, a cada oración atómica se le asocia una etiqueta lingüística como las siguientes:

*falso casi\_falso tal\_vez\_falso desconocido tal\_vez\_cierto casi\_cierto verdadero*

Si  $v$  es un conjunto de valuación discreto, sus elementos  $v=\{v_0, \dots, v_{n-1}\}$  responden al orden numérico de valuación, es decir; el valor  $v_0$  corresponde al valor numérico 0 y el último  $v_{n-1}$  corresponde a 1.

- Como ejemplo de un conjunto de valuación continuo se tiene:

Si  $v$  es un conjunto de valuación continuo, sus elementos pueden ser descritos por una distribución de probabilidad, los valores de verdad será un número real entre 0 y 1.

Otro ejemplo se da cuando se observa un parámetro  $p$  que varía de manera continua y que puede asumir valores entre un mínimo  $a$  y un máximo  $b$ . Al asociarle a cada elemento  $x$  entre  $a$  y  $b$  el número  $y = \frac{(x-a)}{(b-a)}$  se puede identificar la correspondencia entre el conjunto de valuación  $v=[a,b]$  y el intervalo  $[0,1]$ .

Para un conjunto  $\rho_0$  de oraciones atómicas. Una **asignación** es una correspondencia que a cada átomo  $p$  en  $\rho_0$  le asocia un valor  $v(p)$  en  $v$  o lo deja sin valor asociado.

Para los conectivos lógicos: *complemento*  $\neg$ , *conjunción*  $\wedge$  y *disyunción*  $\vee$ , con una operación de evaluación  $f_{\neg}, f_{\cap}, f_{\cup}$  respectivamente. Una colección de *oraciones complejas*  $\rho_B$  se define: toda oración atómica  $p$  es un elemento de  $\rho_B$ ; el complemento de una oración en  $\rho_B$  está también en  $\rho_B$ ; y la conjunción y disyunción de dos oraciones en  $\rho_B$  están también en  $\rho_B$ .

Toda asignación  $v$  definida sobre las oraciones atómicas, se extiende a una asignación  $v^*$  definida en toda la colección  $\rho_B$ . Si  $p$  es una oración atómica,  $v^*(p) = v(p)$ . Si para una oración  $p$  en  $\rho_B$  se tiene  $x = v^*(p)$ , entonces:  $v^*(\neg p) = f_{\neg}(v^*(p))$ . De la misma forma, si para dos oraciones  $p$  y  $q$  en  $\rho_B$  se tiene  $x = v^*(p)$  y  $y = v^*(q)$ , entonces:

$$v^*(p \cap q) = f_{\cap}(v^*(p), v^*(q)) \text{ y } v^*(p \cup q) = f_{\cup}(v^*(p), v^*(q))$$

La asignación  $v$  está propagando *incertidumbres* partiendo de la asignación  $v$ .

Hasta ahora solamente se han considerado tres tipos de conectivos lógicos de la lógica proposicional tradicional: complemento, conjunción y disyunción. Pueden definirse el resto de conectivos (implicación y equivalencia) de la siguiente forma:  $(p \Rightarrow q) \equiv \neg p \vee q$ ,  $(p \Leftrightarrow q) \equiv (p \wedge q) \vee (\neg p \wedge \neg q)$ .

De manera recíproca, si se hubieran definido únicamente funciones de evaluación para el complemento y la implicación, se podrían definir el resto de conectivos (conjunción, disyunción y equivalencia) de la siguiente forma:  $(p \wedge q) \equiv \neg(p \Rightarrow (\neg q))$ ,  $(p \vee q) \equiv (\neg p) \Rightarrow q$ ,  $(p \Leftrightarrow q) \equiv (p \Rightarrow q) \wedge (q \Rightarrow p)$ .

### **CALCULO DE PREDICADOS DIFUSO**

A lo ya expuesto en el apartado *lógica de predicados*, se agregarán algunos conceptos para desarrollar el cálculo de predicados difuso.

Cada predicado  $P$  y cada función  $F$  tiene asociada una *aridad*, que indica el número de argumentos que la forman.

Al igual que en el cálculo de predicados tradicional, una interpretación consiste de un universo  $M$ , una correspondencia de cada elemento  $c$  en la oración con un elemento  $m_c$  en  $M$  y una correspondencia de símbolos de funciones con funciones en  $M$ : Si  $f$  es un símbolo de función de aridad  $n$ , entonces  $m_f$  es una función con dominio  $M^n$  y contradominio  $M$ , es decir:  $m_f : M^n \rightarrow M$ .

De esta manera, a cada término  $t$  que no involucre variables, les corresponderá un elemento  $m_t$  en  $M$ .

A cada predicado de aridad  $n$ , se le asocia un conjunto difuso  $m_R$  en el universo  $M^n$ ; y a los conectivos lógicos se les asocia funciones específicas de evaluación.

Una asignación  $v$  asocia a cada variable  $x$  un elemento en  $M$ . Cuando se tienen dos asignaciones  $v$  y  $u$  que coinciden en todas las variables excepto, quizá en  $x$ , se le denota por  $v \equiv_x u$ .

A una oración atómica cerrada, es decir; sin variables,  $P(t_1, \dots, t_n)$  la asignación le asocia como valor de verdad el grado de pertenencia del n-ésimo elemento de  $(m_{t_1}, \dots, m_{t_n})$  al conjunto difuso  $m_R$ . Lo anterior se denota:

$$v(P(t_1, \dots, t_n)) = \mu_{m_R}(P(m_{t_1}, \dots, m_{t_n})).$$

Si  $\square$  es un conectivo lógico con función de evaluación  $f_{\square}$ , para dos formular  $\phi$  y  $\psi$  se define  $v(\phi \square \psi) = f_{\square}(v(\phi), v(\psi))$ .

Finalmente, para oraciones que incluyen cuantificadores se define:

- $v(\forall x \phi(x)) = \min \{u(\phi) \mid u \equiv_x v\}$
- $v(\exists x \phi(x)) = \max \{u(\phi) \mid u \equiv_x v\}$

### **DEDUCCION E INFERENCIA EN LOGICA PROPOSICIONAL Y DE PREDICADOS DIFUSA**

Se utilizarán las reglas de deducción e inferencia para el cálculo de conjuntos difusos, para enunciar las siguientes reglas de cálculo proposicional difuso y el cálculo de predicados difuso.

- **Deducción.** Para una oración  $\phi$ , si se sabe que las oraciones atómicas que involucra toman valores de verdad en ciertos intervalos. Es posible estimar en que intervalo I ha de caer el valor de verdad de  $\phi$ .
- **Inferencia.** Para una oración  $\phi$ , si se sabe que valor de verdad  $v(\phi)$  cae en el intervalo I, y que para algunos átomos involucrados en  $\phi$  sus correspondientes valores de verdad caen en ciertos intervalos. Se ha de estimar para los átomos restantes, en que intervalos debieron caer sus correspondientes valores de verdad.

## 5. TECNICAS DE BUSQUEDA

En Inteligencia Artificial la resolución de problemas y búsqueda se refieren a un núcleo de ideas como: la deducción, elaboración de planes de actuación, razonamientos de sentido común, entre otros. Este conjunto de técnicas de búsqueda son herramientas básicas para construir sistemas inteligentes, pero deberán ser adaptados y modificados para construir sistemas que resuelvan problemas del mundo real.

A continuación se examinará la relación de los términos *solución de problemas* y *búsqueda*. Posteriormente, se explicarán las *clasificaciones de las búsquedas* a partir de dos puntos de vista: según la estrategia de control y los espacios de búsqueda.

### 5.1 BUSQUEDA Y SOLUCION DE PROBLEMAS

El proceso de solución de problemas consiste en encontrar una secuencia de operaciones que transformen al estado inicial en uno final. En la práctica, se necesita seguir una estrategia de búsqueda para encontrar una solución. En otras palabras, el término solución de problemas en IA implica *búsqueda de estados y evaluación de operaciones*.

Dado que cada actividad de solución de problemas puede ser contemplada como una tarea encaminada a encontrar o construir un objeto con unas características dadas, los componentes más rudimentarios para resolver un problema en la IA son:

1. *La base de conocimiento*: Es una estructura simbólica capaz de representar objetos en el espacio.
2. *Los operadores o reglas de producción*: Son herramientas computacionales capaces de transformar la representación del objeto para poder inspeccionar sistemáticamente el espacio de objetos candidatos.
3. *La estrategia de control*: Un método efectivo de organizar estas transformaciones para así obtener el objeto deseado tan pronto como sea posible.

Lo importante es destacar la unión inseparable entre los conceptos de búsqueda y de razonamiento o resolución de problemas.

## 5.2 CLASIFICACION DE LOS SISTEMAS DE BUSQUEDA

Existen varios puntos de vista para clasificar los sistemas de búsqueda. Los parámetros de clasificación corresponden a los distintos modos de implementación de cada uno de los componentes de estos sistemas.

Inicialmente la clasificación se genera a partir de la **estrategia control**, que constituye el elemento esencial (o motor) del mecanismo de resolución de problemas, pueden identificarse varias dimensiones de clasificación:

1. Dirección de búsqueda
2. Régimen de control irrevocable o tentativo
3. Grado de conocimiento
4. Objetivo de la búsqueda

Para comprender esta clasificación de forma más detallada ver la figura 1.5.1.

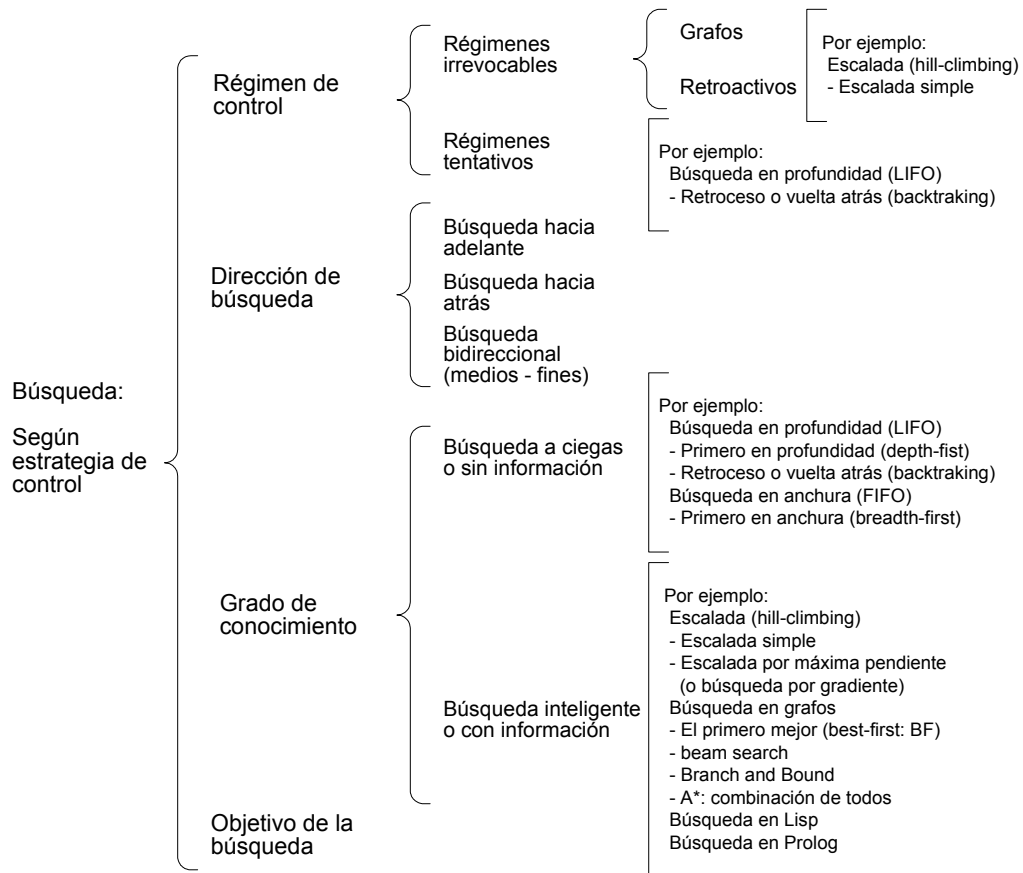


Figura 1.5.1. Clasificación de búsquedas según estrategia de control.

Otra clasificación será la representación de los objetos (o base de datos) y de los operadores (o reglas de transformación). Lo anterior se conocerá como **representación del espacio de búsqueda**, que se divide en tres grandes tipos:

1. Espacio de estados
2. Reducción de problemas
3. Árboles de juegos

Para apreciar esta clasificación de forma más detallada, ver la figura 1.5.2.

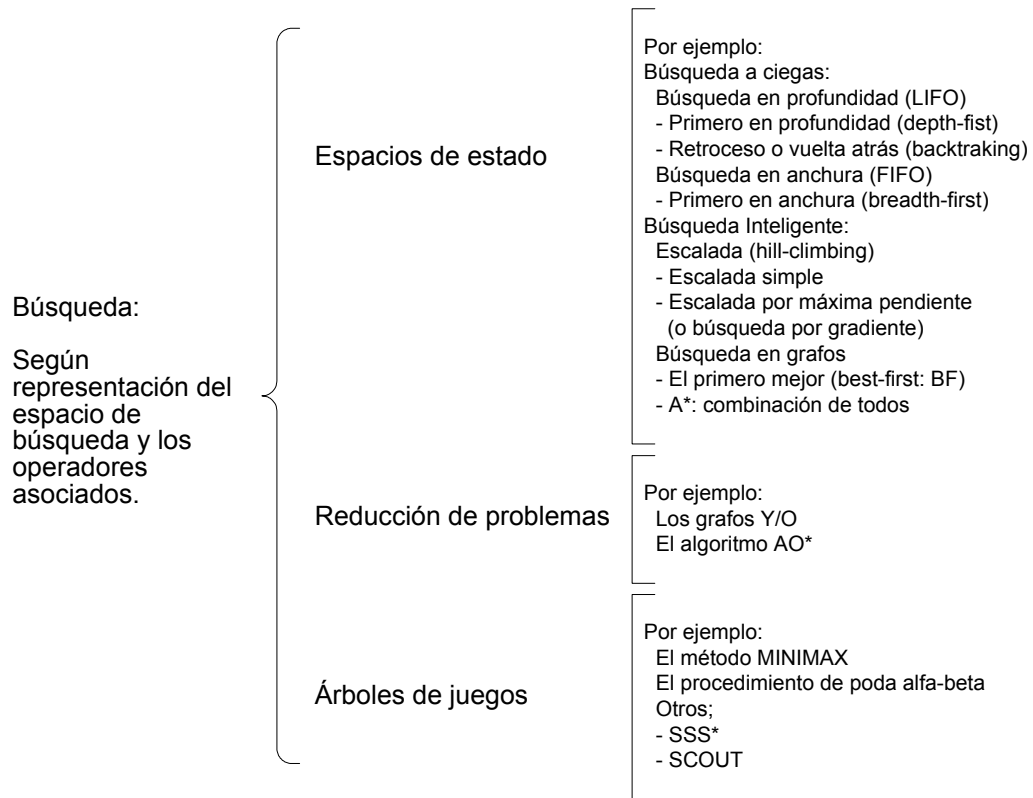


Figura 1.5.2. Clasificación de búsquedas según espacio de búsqueda.

A continuación se describen las dos clasificaciones mencionadas anteriormente, mostrando algunas definiciones de algoritmos de búsquedas importantes, por ser paradigmas respecto de los cuales se han comparado otras técnicas de búsqueda.



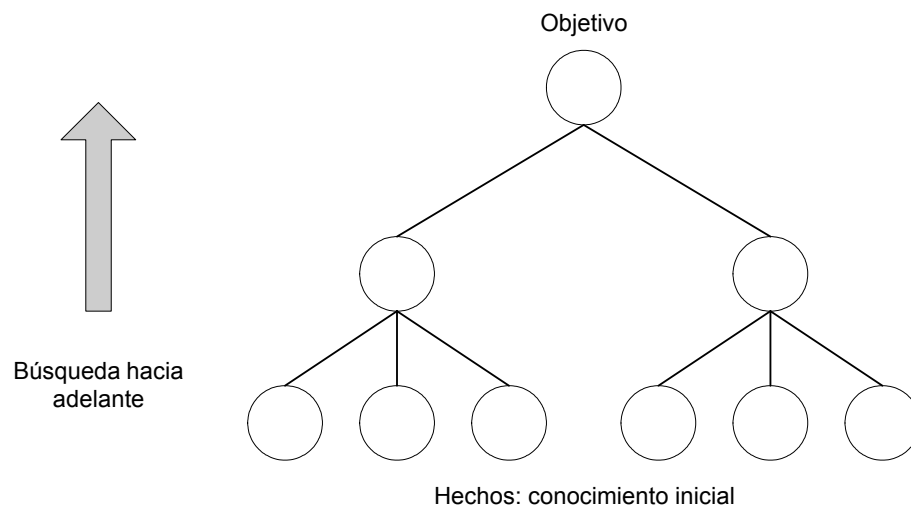
## 5.2.1 SEGUN LA ESTRATEGIA CONTROL

### 1. DIRECCION DE LA BUSQUEDA

El propósito del proceso de búsqueda es encontrar un camino entre el estado o estados iniciales y el o los estados finales u objetivos. De acuerdo al sentido de la búsqueda esta puede hacerse en dos direcciones: hacia adelante (del inicio al fin) o hacia atrás (del fin al inicio).

#### ***Búsqueda hacia adelante***

Conocido como "forward chaining", "data driven" o "bottom-up". Es deductivo o guiado por datos. Consiste en enlazar los conocimientos a partir de datos con el fin de obtener una solución de un problema. Este proceso de búsqueda genera nuevos hechos, que pueden ser tratados de dos formas: en profundidad o en anchura.



*Figura 1.5.3. Búsqueda hacia adelante.*

La ventaja de utilizar este tipo de técnicas es su sencillez, por que la entrada de datos es única y al principio del proceso.

La búsqueda hacia adelante realiza los siguientes pasos:

- Se define el objetivo y el conocimiento inicial (hechos).
- Se determina el conjunto de reglas cuyas premisas cumplen con el conocimiento inicial.
- Se eligen de una en una las reglas, de acuerdo a la estrategia de solución de conflicto.
- El resultado de la aplicación de la regla (un nuevo hecho), se integra al conocimiento.
- Este proceso termina cuando se alcanza el objetivo, o ya no existen reglas aplicables.

*Ejemplo 1.5.1. Búsqueda hacia delante:*

Estrategia de solución de conflicto: “la primera regla se dispara”. Objetivo: crear todos los hechos derivables. Inicialmente se cuenta con los siguientes hechos y conocimiento:

Conocimiento	Hechos
<b>R1: si p y q, entonces s</b> <b>R2: si r, entonces t</b> <b>R3: si s y t, entonces u</b> <b>R4: si s y r, entonces v</b>	p, q, r

Paso 1:

Se emparejan<sup>29</sup> las reglas con los hechos existentes, y se determina que es aplicable R1 y R2. De acuerdo a la estrategia, se dispara R1 y se obtiene el nuevo hecho “s”.

Conocimiento	Hechos
R1: si p y q, entonces s -- aplicada -- <b>R2: si r, entonces t</b> <b>R3: si s y t, entonces u</b> <b>R4: si s y r, entonces v</b>	p, q, r, s

Paso 2:

Se empareja de nuevo las reglas con los hechos existentes. Se determina que R2 y R4 son aplicables. Se dispara R2 y se obtiene el nuevo hecho “r”.

Conocimiento	Hechos
R1: si p y q, entonces s -- aplicada -- R2: si r, entonces t -- aplicada -- <b>R3: si s y t, entonces u</b> <b>R4: si s y r, entonces v</b>	p, q, r, s, t

Paso 3:

Se empareja de nuevo las reglas con los hechos existentes. Se determina que R3 y R4 son aplicables. Se dispara R3 y se obtiene el nuevo hecho “u”.

Conocimiento	Hechos
R1: si p y q, entonces s -- aplicada -- R2: si r, entonces t -- aplicada -- R3: si s y t, entonces u -- aplicada -- <b>R4: si s y r, entonces v</b>	p, q, r, s, t, u

<sup>29</sup> El emparejamiento consiste en determinar si con los hechos existentes se pueden cumplir todas las premisas de una regla.

Paso 4:

Se empareja de nuevo las reglas con los hechos existentes. Se determina que R4 es aplicable. Se dispara R4 y se obtiene el nuevo hecho "v".

Conocimiento	Hechos
R1: si p y q, entonces s -- aplicada -- R2: si r, entonces t -- aplicada -- R3: si s y t, entonces u -- aplicada -- R4: si s y r, entonces v -- aplicada --	p, q, r, s, t, u, v

Paso 5:

Se empareja de nuevo las reglas con los hechos existentes. Se determina que no hay reglas aplicables (pues todas han sido utilizadas). Fin del proceso.

### **Búsqueda hacia atrás**

Se denomina también "ackward chaining", "goal directed" o "top-down". Es inductivo o seguido por los objetivos. Consiste en comprobar que un objetivo es cierto en base a hechos que forman el universo del sistema. En este método las soluciones deben ser conocidas de antemano, mientras que los datos pueden irse introduciendo a lo largo del programa.

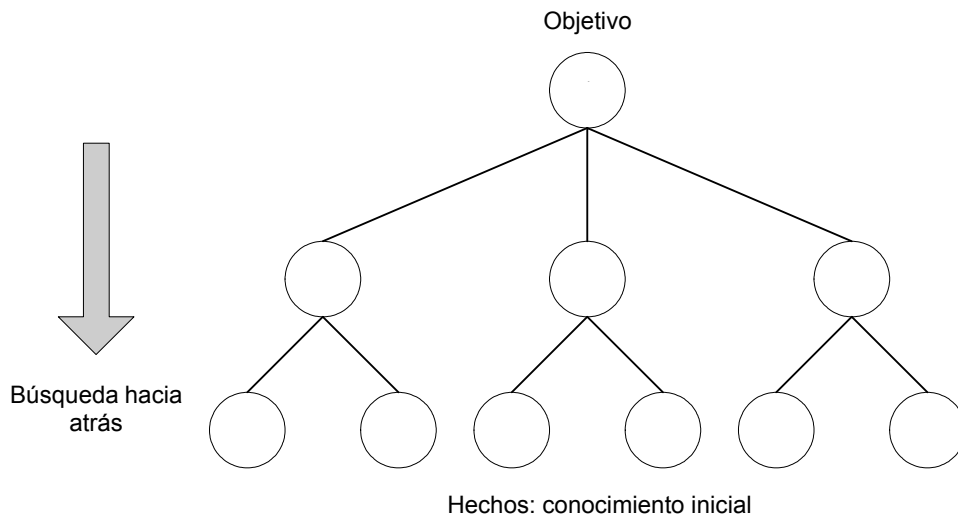


Figura 1.5.4. Búsqueda hacia atrás.

La ventaja principal es su gran potencia y sus inconvenientes técnicos son la necesidad de emplear procesos recursivos.

La búsqueda hacia atrás realiza los pasos siguientes:

- Se establece el conocimiento inicial, y la hipótesis que se desea comprobar.
- Se determina el conjunto de reglas cuya conclusión pueda unificarse<sup>30</sup> con la hipótesis.
- Elección de la regla a utilizar, según la estrategia de solución de conflictos.
- En caso de que la premisa de la regla disparada no se encuentre, realizar búsqueda hacia atrás con dicha premisa como hipótesis.
- El proceso termina cuando la hipótesis sea confirmada, o ya no existan reglas aplicables.

*Ejemplo 1.5.2. Búsqueda hacia atrás.*

Estrategia de solución de conflicto: "la primera regla se dispara". Objetivo: verificar hipótesis "v". Inicialmente se cuenta con los siguientes hechos y conocimiento:

Conocimiento	Hechos
R1: si p y q, entonces s R2: si r, entonces t R3: si s y t, entonces u R4: si s y r, entonces v	p, q, r

Paso 1:

- Comprueba si "v" se encuentra entre los hechos existentes.
- Establece "v" como hipótesis (si hubiese encontrado "v", el proceso terminaría en este paso).
- Se mantiene sin cambio el conocimiento y los hechos iniciales.

Paso 2:

- Se comparan las reglas con "v", y se descubre que R4 incluye este hecho.
- Se comprueba si las premisas de R4 se encuentran entre los hechos.
- Se establece "s" como hipótesis, pues no se encuentra entre los hechos. (en este momento se utiliza recursividad).
- Se mantiene sin cambio el conocimiento y los hechos iniciales.

---

<sup>30</sup> La unificación es el proceso mediante el que se consigue una uniformidad de la estructura de oraciones uniendo valores de variables.

Paso 3:

- Se comparan las reglas con “s”, y se descubre que R1 es aplicable.
- Se comprueba si las premisas de R1 se encuentran entre los hechos.
- Se dispara R1 y se comprueba la hipótesis “s”.
- Se agrega “s” a los hechos.

Conocimiento	Hechos
R1: si p y q, entonces s -- aplicada -- <b>R2: si r, entonces t</b> <b>R3: si s y t, entonces u</b> <b>R4: si s y r, entonces v</b>	p, q, r, s

Paso 4:

- Comprobar si la segunda premisa “r” esta contenida en los hechos.
- Al cumplirse todas las premisas de R4 se introduce “v” a los hechos.

Conocimiento	Hechos
R1: si p y q, entonces s -- aplicada -- <b>R2: si r, entonces t</b> <b>R3: si s y t, entonces u</b> R4: si s y r, entonces v	p, q, r, s, v

Paso 5:

- Continuando el proceso del paso 1, verifica que “v” se encuentre en los hechos.
- Se verifica la hipótesis, con lo que finaliza el proceso.

### ***Búsqueda Mixta o bidireccional***

Es el más empleado en los SE, consisten en buscar primero un conjunto de soluciones mediante una búsqueda hacia delante, y luego mediante una búsqueda hacia atrás se verifican estas soluciones.

Un problema de este tipo de búsqueda son los ciclos infinitos, por eso se deben de incluir mecanismos de detección y control de lazos. Otro problema importante consiste en que las dos ramas del camino que se pretende construir deben tratar de unirse y no duplicar esfuerzos inútilmente. Para ello, deben calcularse en cada momento "diferencias" entre ambas ramas que se tratara de minimizar con el objetivo de que lleguen a encontrarse.

La estrategia bidireccional tiene el ejemplo más representativo en el GPS que implementa la estrategia conocida como "medios-fines".

## 2. REGIMEN DE CONTROL

En la mayoría de los casos de representación de conocimiento a través de reglas, no está claro cual ha de ser la regla más adecuada para ser aplicada. Se distinguen dos tipos de estrategias según el modo de selección: regímenes irrevocables y regímenes tentativos.

### **Regímenes irrevocables**

En este régimen una regla seleccionada es aplicada irrevocablemente, es decir, sin que pueda haber una reconsideración posterior.

El punto de partida para la aplicación de esta regla se olvida del proceso de búsqueda, solo conservará en memoria el estado actual. Esto no significa que el estado que se abandona nunca más pueda ser vuelto a alcanzar y por lo tanto, la búsqueda podría devolvernos a ese punto.

Cuando el propósito de la búsqueda es encontrar alguna respuesta satisfactoria podríamos usar un régimen irrevocable, siempre que la aplicación de las reglas no distorsione el espacio de búsqueda. El ejemplo de los regímenes irrevocables es el método de escalada o hill-climbing.

### *Ejemplo 1.5.3. Acertijo de 8 piezas*

El juego del acertijo de 8 piezas consiste en ordenar las piezas de forma ascendente a través de movimientos de cada pieza en la casilla disponible (ver figura 1.5.5).

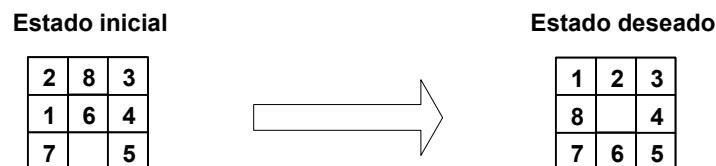


Figura 1.5.5. Estado inicial y final del acertijo de 8 piezas.

---

Solución:

- *Variable:* Casillas (C1...C8)
- *Dominio:* Espacios [1..9]
- *Restricciones:* Solo se puede mover una casilla en un espacio vacío. Y para cada movimiento hay un espacio vacío.
- *Función de evaluación (B):* Distancia de la meta, que es la cantidad de piezas que se encuentran en posición errónea con respecto a su posición final.

Proceso de búsqueda:

Si B es el número de elementos "fuera de lugar" con respecto al estado final. En la figura 1.5.6 se evalúa en cada paso la proximidad de la solución, y se avanza por el mejor camino encontrado. El mejor camino será aquel que se acerque más rápidamente al estado deseado.

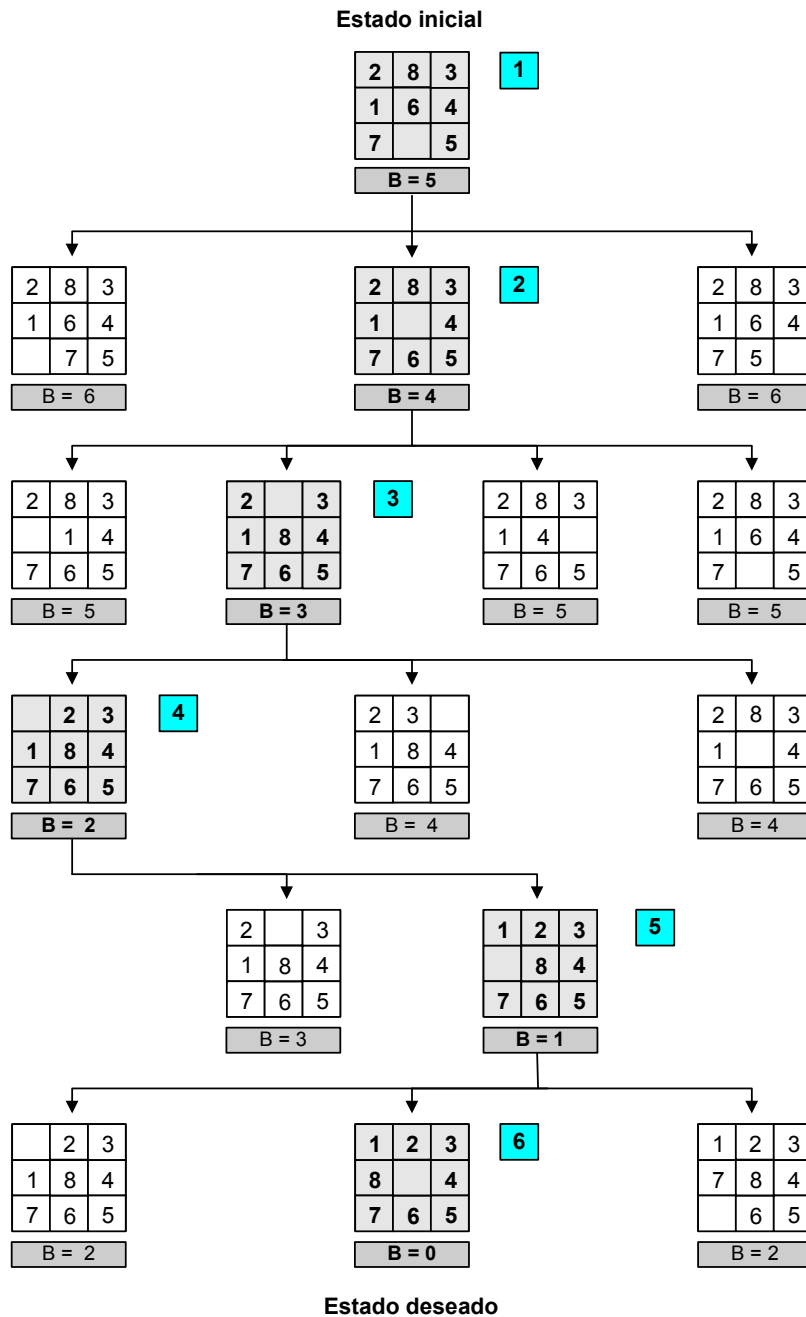


Figura 1.5.6. Proceso de búsqueda en el acertijo de 8 piezas.

Se cuenta con un estado inicial (figura 1.5.5) en el que 5 piezas se encuentran fuera de lugar. Al realizar la primera evaluación, se observa que dentro de las posibilidades se tiene una con la menor cantidad de piezas fuera de lugar ( $B = 4$ ) y se avanza por esa ruta.

En la segunda evaluación (estado 2) se cuenta con 4 posibilidades de movimiento (importando solo el estado actual de la búsqueda), y se opta por la que logra el menor número de piezas en lugares erróneos, es decir el camino  $B = 3$ .

Nuevamente se tienen 3 alternativas de movimiento, se tiene un camino con 2 piezas en el lugar equivocado. Se sigue por el camino de  $B = 2$  y evalúa el siguiente estado.

En este punto ( $B = 2$ ) solo existen 2 alternativas de movimiento, y la que nos acerca más a la solución es la que tiene una posición equivocada ( $B = 1$ ) y se avanza por ese camino.

Luego de 6 estados, se encuentra el estado deseado. Se recorre el espacio de búsqueda, a través de la distancia a la meta, evaluando el valor más bajo de la distancia para avanzar.

### **Regímenes tentativos**

En este régimen se selecciona por algún criterio una regla y se aplica tomando las medidas precisas para que esta aplicación pueda ser reconsiderada posteriormente.

Entre los regímenes tentativos se distinguen dos modelos: estrategias retroactivas (por ejemplo: backtracking) y la estrategia de búsqueda en grafos.

En las estrategias retroactivas, después de la aplicación de cada regla se establece en memoria el punto de aplicación para poder tomar otro camino si apareciese una dificultad más adelante.

La estrategia de búsqueda en grafos consiste en tomar medidas para registrar los efectos de varias secuencias de reglas simultáneamente.

Cuando el objeto buscado es la secuencia de acciones que conducen a una meta, como es el caso de la búsqueda del camino más corto, el régimen es tentativo.



*Ejemplo 1.5.4. El problema de las ocho reinas.*

El problema consiste en colocar ocho reinas en un tablero de ajedrez (figura 1.5.7) sin que se amenacen (dos reinas se amenazan si comparten fila, columna o diagonal).

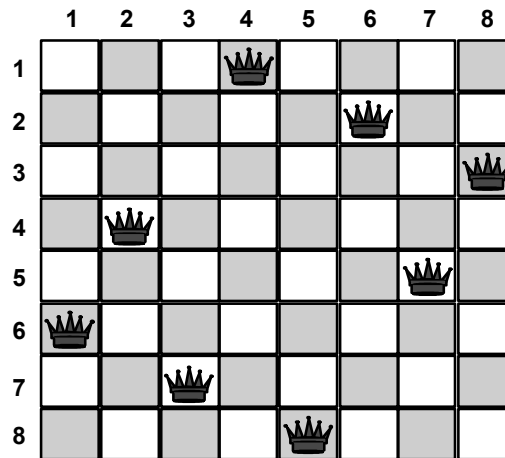


Figura 1.5.7. Solución al problema de las 8 damas.

---

Para facilitar la comprensión del ejemplo de búsqueda por régimen de control tentativo, se adopta una organización en árbol del espacio de soluciones. Y se reduce el problema a la mitad, es decir, cuatro reinas en un tablero de 4x4 (ver figura 1.5.8).

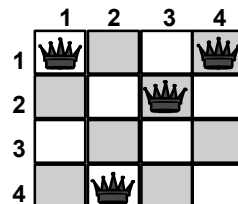


Figura 1.5.8. Tablero de 4x4 con 4 reinas.

---

*Solución:*

- Colocar 4 reinas, 1 en cada fila de un tablero 4x4, sin que se amenacen.
- Variables: R1, R2, R3, R4 (reinas)
- Dominios: [1 .. 4] para cada Ri (columna)
- Restricciones: Ri no-amenaza Rj

Proceso de búsqueda:

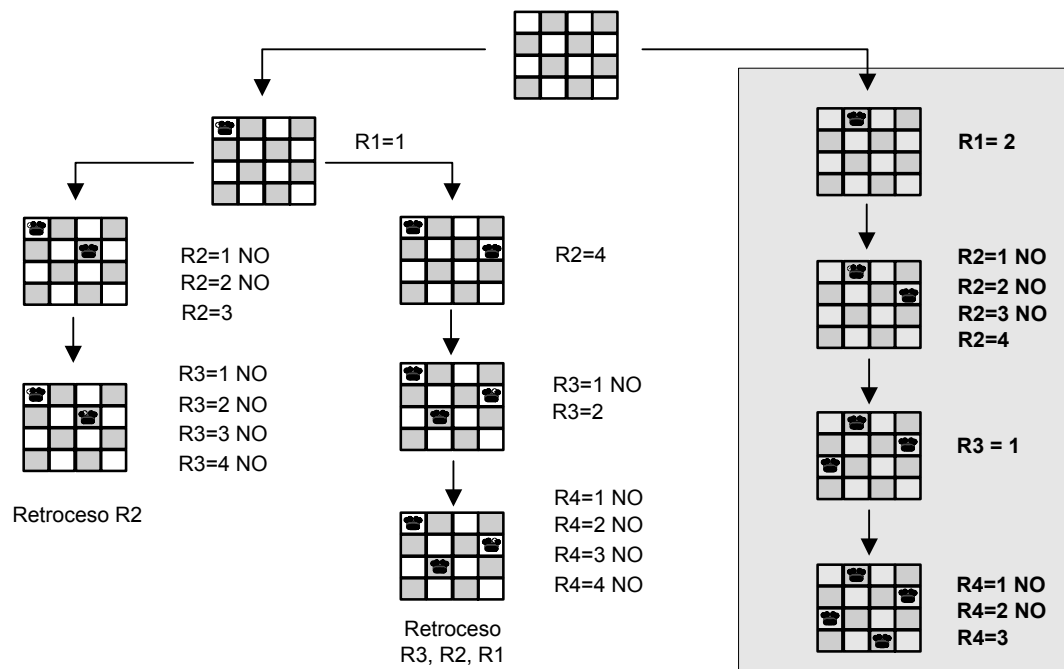


Figura 1.5.9. Proceso de búsqueda de régimen tentativo

Inicialmente la búsqueda ubica a la reina 1 en la posición 1 ( $R1 = 1$ ), se utiliza como punto de partida. Al no obtener el estado deseado en ninguna de las ubicaciones posibles de la reina 2 ( $R2 = 3$  y  $R2 = 4$ ) se regresa a evaluar un nuevo punto de partida.

Si se selecciona como punto inicial a la reina 1 en la posición 2 ( $R1 = 2$ ) se obtiene el estado deseado en la primera aplicación de la búsqueda.

### 3. GRADO DE CONOCIMIENTO

Atendiendo al grado de conocimiento en la estrategia de control de un sistema de búsqueda, podemos clasificarlas entre: búsquedas a ciegas (o sin información) y búsquedas inteligentes (con conocimientos).

#### ***Búsqueda a ciegas***

El objetivo es obtener un cierto estado final a partir de una situación inicial, se pueden generar (*sistemática y aleatoriamente*)<sup>31</sup> todos los posibles estados y comprobar si estos son o no los deseados. Este tipo de búsqueda tiene sentido si el conjunto de estados es pequeño. En otro caso los recursos materiales o nuestra paciencia podrían resentirse de tal modo que nunca encontrásemos la respuesta.

El carácter sistemático de este tipo de búsqueda hace que no sea problema el disponer o no de algún tipo de guía o ayuda a la búsqueda. Sin embargo, esta puede caer en el problema llamado *explosión combinatoria*<sup>32</sup>.

#### *Ejemplo 1.5.5. El problema del viajero.*

Un viajero hospedado en Santa Ana (estado inicial) desea ir a Zacatecoluca (estado objetivo) a través de los siguiente caminos y lugares (espacios de estados) (ver figura 1.5.10).

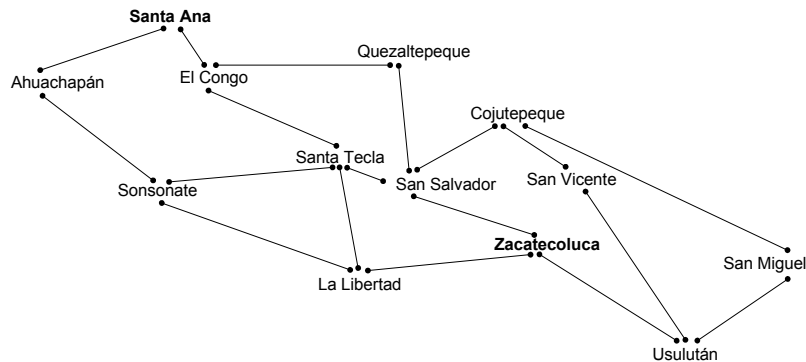


Figura 1.5.10. Espacios de estado para el ejemplo 1.5.5.

<sup>31</sup> La búsqueda a ciegas tienen dos connotaciones: El carácter aleatorio se refiere a la forma de selección de los espacios de estados (candidatos) que se compararán con el estado objetivo. El carácter sistemático se refiere a la forma ordenada y lógica de realizar esa comparación.

<sup>32</sup> Cuando los números aumentan exponencialmente, un pequeño exponente puede producir resultados astronómicos. En la construcción de un conjunto de espacios de estado de un problema, sería imposible tener en cuenta al mismo tiempo todas las combinaciones de fenómenos de un mundo real multivariable.

Sin ningún tipo de información, el orden al recorrer los lugares será sistemático:

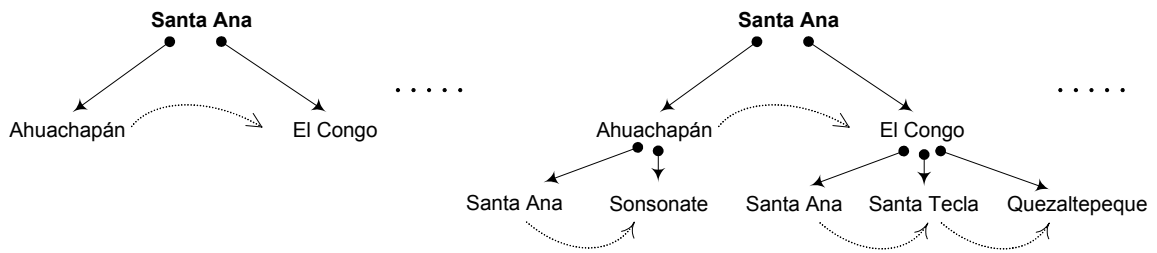


Figura 1.5.11. Búsqueda en nivel 1 y 2

Y así sucesivamente hasta que la búsqueda encuentre el estado objetivo, es decir Zacatecoluca. La solución mostrara el siguiente recorrido:

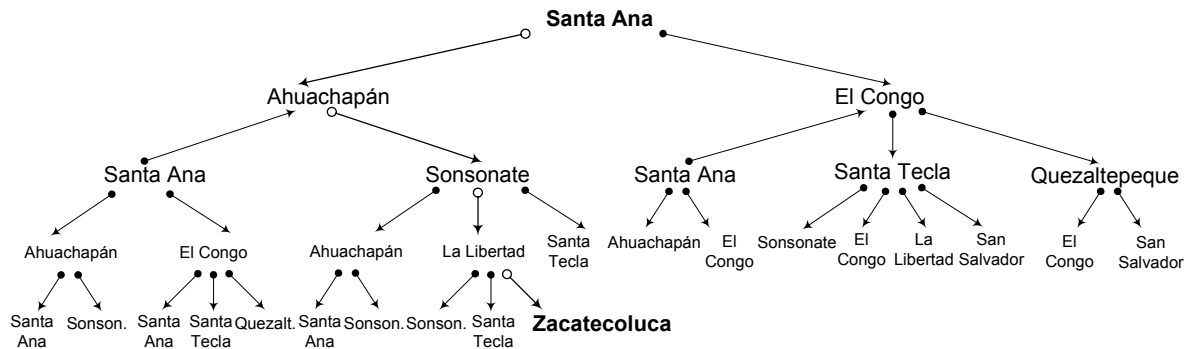


Figura 1.5.12. Proceso de búsqueda en anchura.

Esta es una búsqueda en anchura en la que podemos encontrar una respuesta satisfactoria, pero con la desventaja de haber ocupado mucha memoria y tiempo. El aumento excesivo de los estados ocasionaría una explosión combinatoria.

### Búsqueda inteligente

Los procedimientos de búsqueda inteligente en problemas reales deben disponer de estrategias de control adecuadas. Debemos guiar nuestra búsqueda basándonos en conocimientos específicos del tema que tratemos. El problema está en saber cómo se maneja y representa el conocimiento para que sea útil.

Se deberá construir una buena estructura de control (búsqueda) que garantice encontrar una respuesta y que casi siempre encuentre una buena solución. En el ambiente de la IA, los elementos que sirven para encontrar una estructura que facilite la exploración se llaman heurísticos.

La heurística es una técnica que aumenta la eficiencia de un proceso de búsqueda, permitiendo evaluar las posibles soluciones para filtrar la mejor.

*Ejemplo 1.5.6: Continuación del problema del viajero.*

Este mismo viajero desea ir a Zacatecoluca desde Santa Ana (ver figura 1.5.13). Pero ahora cuenta con la distancia entre cada lugar (estados), como información en la que basará su decisión.

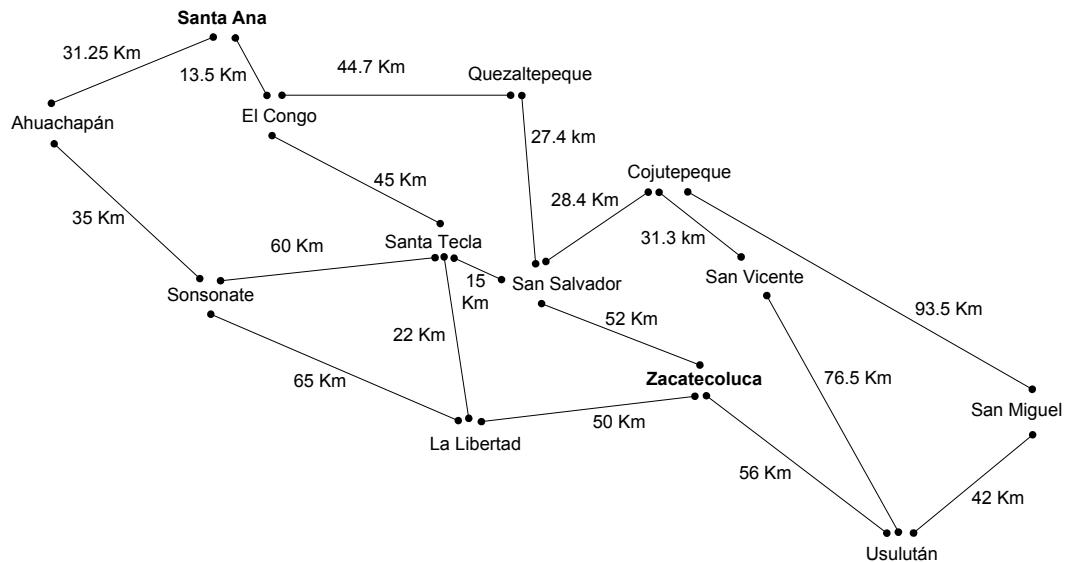


Figura 1.5.13. Distancias de las rutas y lugares (espacios de estados).

El proceso de búsqueda proporcionará el siguiente resultado:

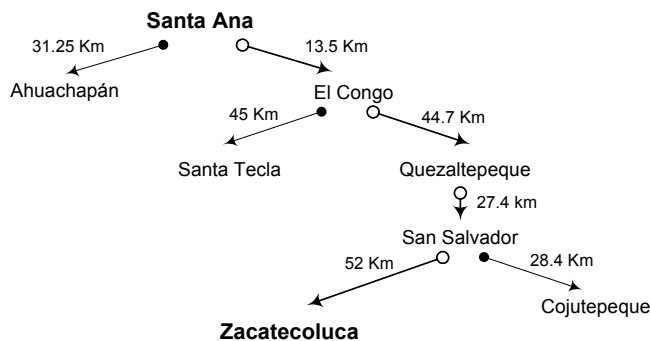


Figura 1.5.14. Proceso de búsqueda con información de distancias.

En esta ruta se recorren un total de 137.6 kms. para llegar de Santa Ana a Zacatecoluca. Esta podrá no ser la mejor solución, pero permite encontrar una ruta satisfactoria que ahorra memoria y tiempo en la búsqueda.

Se puede encontrar una mejor solución se aplica más información como criterios heurísticos. Para el ejemplo, se pueden utilizar como criterios heurísticos información sobre los pesos de los caminos (para seleccionar un lugar). Esta asignación puede hacerse de dos formas:

- De acuerdo a un criterio de calidad de la calle: asfalto o tierra, cantidad de curvas, todavía esta en construcción, etc.
- Porque se conoce de antemano que es la mejor ruta para llegar al objetivo (ya sea porque el sistema inteligente lo generó a través del *aprendizaje* o porque fue establecido por un experto).

Este peso será un valor en el rango de [0, 1], y se seleccionará el siguiente lugar a partir del valor que más cerca este a 1.

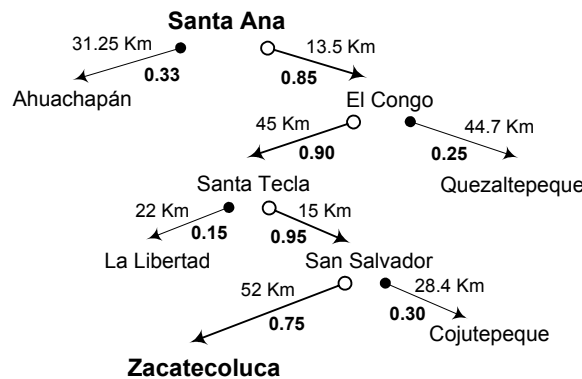


Figura 1.5.15. Proceso de búsqueda con información a través de pesos (heurística).

Según la solución, se deberán de recorrer 125.5 Km. Evidentemente, esta solución es mejor que la que solo se basó en la información de distancias, ya que en la medida que mejora la información también mejora la solución encontrada.

Las ventajas adicionales dependen de los criterios heurísticos. En este caso supondremos que la solución es la ruta más cercana entre Santa Ana y Zacatecoluca, y en la que la calle es la de mejor calidad (estado del asfalto, no esta en construcción, etc.).

#### 4. OBJETIVO DE LA BUSQUEDA

Toda búsqueda tiene un objetivo que cumplir. De forma intuitiva se piensa en el “objeto” que se está buscando. No obstante, una búsqueda puede tener como objetivo más que el encontrar ese “objeto”.

Por sus objetivos, los sistemas de búsqueda pueden dividirse en tres categorías:

- Minimizar el **costo de ruta**.

El costo de ruta es la suma de los costos asociados a una ruta determinada para llegar a la solución. En otras palabras, lo que interesa es la calidad de la solución más que los recursos empleados para llegar a dicha solución.

En el ejemplo del viajero el costo de ruta es el que está determinado por la distancia a recorrer, al viajero le interesa reducir el costo del viaje y el tiempo en que llegará a su destino.

- Minimizar el **costo de búsqueda**.

El costo de búsqueda es el costo asociado a los recursos empleados para formular una solución (tiempo, memoria, etc.).

En el ejemplo del viajero, éste puede tener 15 minutos o bien un día para decidir la ruta que tomará. En este caso, no importa cual solución sea la mejor (de todas las posibles), se debe tomar una decisión en ese tiempo.

- Establecer un compromiso entre el costo de ruta y el costo de búsqueda.

Este es un punto clave que debe considerarse, ya que además de ser un principio recurrente en los programas que involucran búsqueda, aparece con mucha frecuencia en IA.

Los criterios de heurística son fundamentales para formular estrategias de búsqueda, ya que permiten ajustarlos a los costos que se está dispuesto a invertir.

Para ejemplificar este tipo de búsqueda se retomará el ejemplo 1.5.5: *El problema del viajero*, teniendo como propósito mantener un balance entre el costo de ruta y el costo de búsqueda.

*Ejemplo 1.5.7. El problema del viajero.*

Supóngase que ahora el viajero desea conocer la mayor cantidad de ciudades posibles, que solamente cuenta con \$40.00 para cubrir el costo del viaje y que además tiene que partir en 20 minutos.

Los objetivos de la búsqueda son:

1. Encontrar la ruta entre Santa Ana y Zacatecoluca.
2. Minimizar el *costo de ruta*, que está determinado por las condiciones:
  - a) Debe incluir la mayor cantidad de ciudades (estados).
  - b) La solución no debe exceder a \$40.00. Se asumirá que el costo de transporte es de \$0.30 por km. recorrido.
3. El *costo de búsqueda* se medirá en este caso por el tiempo empleado por el sistema para emitir una solución: 20 minutos. Se supondrá que el sistema tarda 5 minutos para encontrar una solución.

El costo de búsqueda restringe la cantidad de soluciones que el sistema puede evaluar a 4 (ver figuras 1.5.16 y 1.5.17).

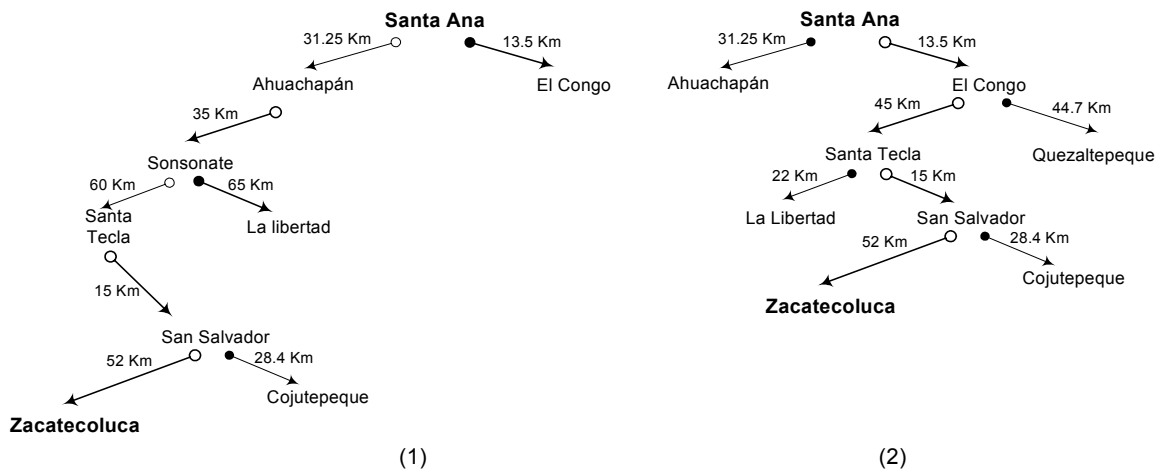


Figura 1.5.16. Proceso de búsqueda de acuerdo a la restricción de búsqueda (soluciones 1 y2).



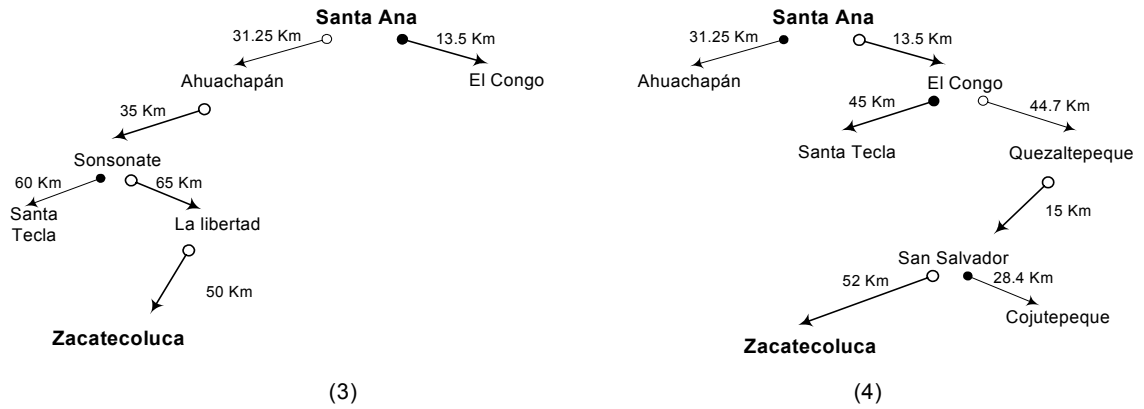


Figura 1.5.17. Proceso de búsqueda de acuerdo a la restricción de búsqueda (soluciones 3 y4).

Cuadro 1.5.1. Costo de ruta para el problema de viajero (ejemplo 1.5.7).

Ruta	Costo de ruta (a)	Costo de ruta (b)
1	\$57.98	4
2	\$37.65	3
3	\$54.38	3
4	\$37.56	3

En el cuadro 1.5.1 puede observarse que la ruta 1 presenta la mayor cantidad de ciudades entre el destino y el origen. Sin embargo, la ruta se vuelve inviable al sobrepasar la segunda condición de costo de ruta (\$40.00).

El resto de las rutas tienen el mismo número de ciudades a recorrer, pero solamente las rutas 2 y 4 cumplen con la segunda condición de costo de ruta, por lo que al compararlas la mejor solución es la ruta número 4.

## 5.2.2 SEGUN LOS ESPACIOS DE BUSQUEDA

### 1. BUSQUEDA EN ESPACIOS DE ESTADOS

Se utiliza para sistemas cuya representación es la de un espacio de estados. Cada fase de la búsqueda está descrita en una base de datos y las reglas u operadores pueden modificarse. Todos los efectos de la aplicación de una regla se traducirán en la creación de otro estado a partir del anterior, según lo que indique la regla aplicada.

El problema de la búsqueda quedará planteado por la representación de espacios de estados, que contiene los siguientes elementos:

- Define un espacio de estados (espacio con todas las posibles soluciones potenciales implícita / explícitamente enumerado).
- Especifica los estados o situaciones iniciales.
- Especifica los estados finales (metas) o aquellos reconocidos como soluciones.
- Especifica las reglas que definen las acciones u operaciones disponibles para moverse o ir de un estado a otro.

A continuación se presentan algunos ejemplos de búsqueda en espacios de estado:

#### ***Algoritmo de escalada***

El método básico de búsqueda consiste en ir generando posibles soluciones y comparándolas con la solución final, mediante una función de prueba que indica si es solución o no.

Existen otros métodos de búsqueda que son mejoras de este esquema general. El objetivo de estos es perfeccionar la selección de las reglas que se han de aplicar y los estados desde donde continuará la búsqueda.

#### ***Algoritmo de escalada o hill climbing***

Es la forma más sencilla del algoritmo de escalada. Su característica principal es que parte de la posibilidad de disponer de un mecanismo más sofisticado que la simple comprobación de igualdad, para decidir si los estados generados son o no objetivo. Un estado generado puede no ser solución, pero podría estar más cerca de ella. En ese caso la búsqueda continuará de éste estado

en adelante. Para aplicar este método, se debe disponer de una función que se llamará heurística, que mida la proximidad de los nodos al objetivo.

Este es el algoritmo que se utiliza para sintonizar una emisora de radio. Se van haciendo movimientos del sintonizador de frecuencias en una dirección siempre que la calidad de la señal recibida mejore. Al llegar a un punto donde no mejora en ninguna de las dos direcciones se detiene la búsqueda en el dial.

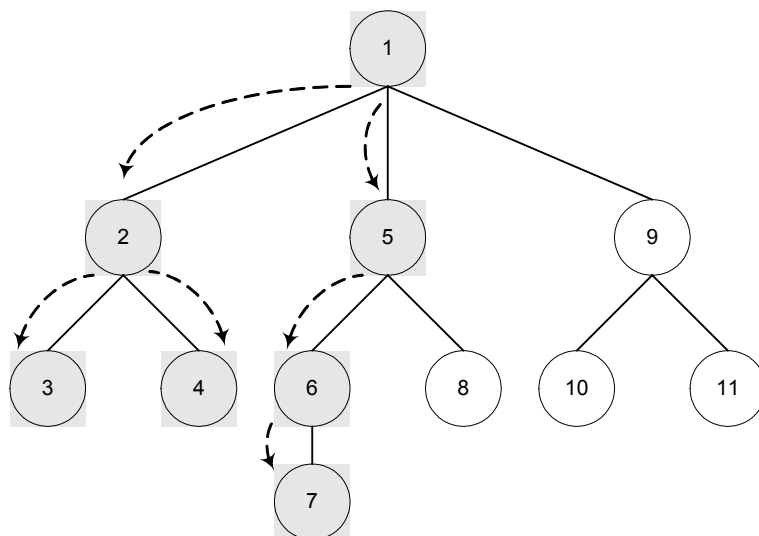
#### *Escalada por máxima pendiente o búsqueda del gradiente*

Esta es una variación del método de escalada simple que consiste en determinar todos los posibles movimientos a partir del estado actual y elegir el mejor de ellos como el nuevo estado. El principal inconveniente de esta versión es que el número de operadores aplicables a un estado puede ser muy grande.

En ninguna de las dos versiones está asegurado que se encuentre la mejor solución.

#### **Búsqueda en profundidad**

Hay dos algoritmos fundamentales de búsqueda en profundidad: búsqueda primero en profundidad y el conocido como backtracking o retroceso (o vuelta atrás). Estas técnicas consisten en dar prioridad a los nodos más profundos en el grafo de búsqueda. De tal forma que estos se expanden o desarrollan para generar posibles soluciones, antes que otros nodos menos profundos (ver figura 1.5.18).



*Figura 1.5.18. Búsqueda en profundidad.*

Tras cada expansión o desarrollo de los nodos hijos que acaban de ser generados se selecciona uno para ser desarrollado nuevamente. Esta exploración hacia abajo se desarrolla hasta que, por alguna razón, el proceso queda bloqueado. En tal caso el proceso continúa desde el nodo más profundo que haya sido dejado atrás sin explorar; es decir, desde el último punto en el que se tomó una decisión dejando alguna alternativa sin explorar.

Esta estrategia funciona bien cuando abundan las soluciones en el grafo y todas ellas son igualmente deseables (es decir, casualmente se llega a solución óptima). También puede resultar adecuada cuando existen medios que puedan indicar con prontitud que se ha elegido una dirección equivocada, con lo que podremos bloquear la búsqueda en ese camino.

Para mejorar la calidad de esta estrategia se debe permitir la posibilidad de bloquear el proceso, esto puede realizarse de la siguiente manera:

- Se define una *profundidad-límite* más allá de la cual no se buscará. Esto evita que el proceso no llegue a grafos infinitos (o en los que haya una rama infinita).
- Si se considera que un nodo está en un "callejón sin salida" abandonamos la búsqueda por ese camino.

Esta es una de las técnicas básicas de búsqueda a ciegas (o búsqueda sin información) aunque algunos algoritmos pueden informarse parcialmente.

#### *Backtracking, Retroceso o Vuelta Atrás*

La estrategia de backtracking es una variante de la estrategia primero en profundidad en la que los hijos del nodo que se expande se generan de uno en uno y no todos a la vez. Esto permite hacer una implementación más sencilla y en la que se puede hacer una selección de las reglas u operadores a aplicar para generar un hijo determinado.

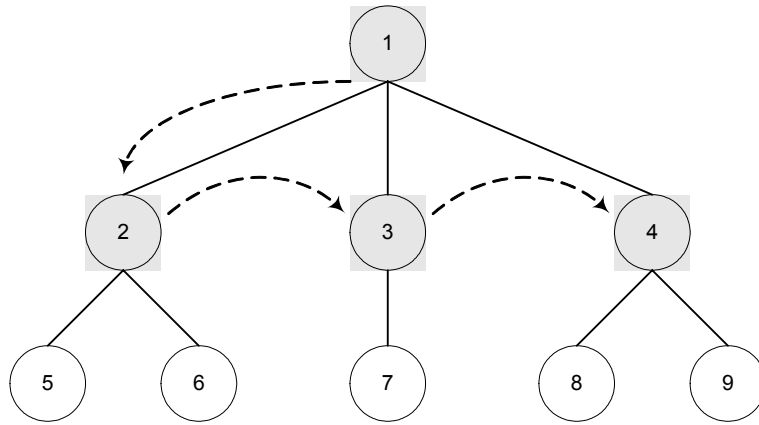
El algoritmo está pensado para que tome precauciones por varios motivos:

- Si detecta algún ciclo en el grafo de exploración.
- Si el número de reglas a aplicar para obtener la solución es mayor que un cierto límite impuesto a priori en el valor de una variable global \*profundidad-límite\*.
- Si se obtuviera un nodo conocido como "callejón sin salida"

***Búsqueda en anchura.***

Esta estrategia, al contrario que la búsqueda en profundidad, asigna mayor prioridad a los nodos con menor profundidad. Hace un recorrido uniforme del grafo que le da un carácter "lento pero seguro". Al contrario de lo que sucede en la estrategia de primero en profundidad, esta estrategia siempre encuentra una solución en los grafos en que esta exista.

Los problemas de esta técnica son: la necesidad de gran cantidad de memoria y la lentitud para encontrar la solución, si esta se encuentra a gran profundidad. Aunque algorítmicamente es más perfecta (siempre encuentra solución óptima), no lo es desde el punto de vista de la IA; ya que es inflexible frente a cualquier tipo de conocimiento que se tenga sobre el problema.



*Figura 1.5.19. Búsqueda en anchura.*

---

Esta búsqueda es un caso particular del algoritmo general de grafos en que la actualización se realiza siguiendo una estrategia FIFO (en la búsqueda en profundidad era de tipo LIFO).

***Estrategia del costo uniforme.***

Es una variante de la estrategia de búsqueda en anchura. Se conoce también con el nombre de "primero el más barato".

Parte del supuesto de que cada regla tiene un costo asociado y desarrolla primero aquellos nodos cuyo costo inicial es menor. Si los costos son positivos esta estrategia siempre conduce a la solución más barata.

## 2. REDUCCION DE PROBLEMAS

Estas técnicas de búsquedas de espacios permiten encontrar soluciones a partir de la descomposición del problema original. Entre los ejemplos más representativos tenemos los grafos AO\* y grafos Y/O, de este último se presenta una breve descripción a continuación.

### Grafos Y/O

Esta técnica “es útil para la representación de la solución en problemas que pueden resolverse descomponiéndolos en un conjunto de problemas más pequeños, cada uno de los cuales debe, a su vez, resolverse. Esta descomposición o reducción genera arcos Y, un arco Y puede apuntar a cualquier número de nodos sucesores, de forma que todos ellos deben resolverse para que el arco apunte a una solución”.<sup>33</sup>

En este algoritmo pueden aparecer varios arcos de un solo nodo, mostrándonos los diferentes caminos o rutas a seguir para resolver el problema original.

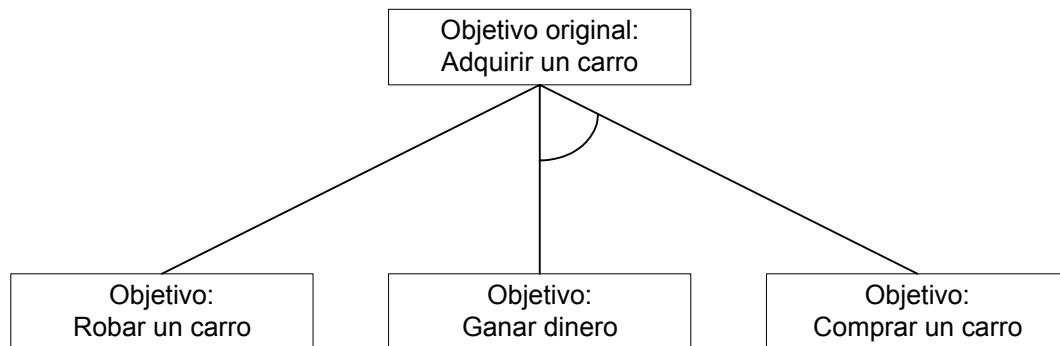


Figura 1.5.20. Ejemplo sencillo de grafos Y/O<sup>34</sup>

En este algoritmo se deberá encontrar un camino a partir del nodo inicial del grafo hacia un conjunto de nodos que representen los estados solución. Para lograr encontrar una solución, puede ser necesario considerar más de un estado solución ya que cada brazo de un arco Y puede conducir a un estado distinto a la solución.

---

<sup>33</sup> RICH y Knight. INTELIGENCIA ARTIFICIAL, pág. 91, 92.

<sup>34</sup> Idem

### 3. ARBOLES DE JUEGOS

Trata de encontrar una solución al problema, generando movimientos a través del espacio del problema desde un estado inicial hasta que se encuentra un estado objetivo. En el entorno de los juegos, un estado objetivo es aquel en el cual ganamos. Los ejemplos más comunes son los algoritmos MINIMAX y poda alfa – beta. Aquí se presenta una breve descripción del algoritmo MINIMAX.

#### *Algoritmo MINIMAX*

El procedimiento de búsqueda MINIMAX es un procedimiento de búsqueda en profundidad, de profundidad limitada.

Esta técnica consiste básicamente en comenzar en la posición actual, usar el generador de movimientos plausibles (solo generan un pequeño número de movimientos prometedores) para generar un conjunto de posiciones y escoger simplemente la mejor. Luego, puede llevarse hacia atrás el valor, hasta la posición de partida para representar la evolución de la misma.

La posición de partida es exactamente tan buena como la posición generada por el mejor movimiento que se puede hacer a continuación. Se supone que la función de evaluación estática devuelve valores elevados para indicar buenas situaciones, de manera que la meta es maximizar el valor de la función de evaluación estática respecto de la siguiente posición.

La función de evaluación estática se encarga de buscar un determinado número de niveles en el árbol o grafo (conocidos como capas en los árboles de juegos), para poder elegir el mejor movimiento que permita comparar las posiciones del tablero resultante determinando cual es la más favorable. Esta función permitirá evaluar toda la información disponible que permita estimar la probabilidad de que se conduzcan eventualmente a la victoria. Su función es similar a la función heurística.

## 6. AREAS DE LA IA

En este apartado se encuentran descritas algunas áreas de la inteligencia artificial. Estas áreas comprenden todas las características necesarias para que una máquina por si sola pueda superar la prueba de Turing.

### 6.1 PROCESAMIENTO DE LENGUAJE NATURAL<sup>35</sup>

La forma más común de comunicación entre las personas es hablando o escribiendo en uno de los “lenguajes naturales” como: español, inglés, francés o japonés. Los lenguajes de programación de las computadoras, parecen extraños a los humanos.

Estos lenguajes artificiales están diseñados de forma que las oraciones tengan un formato rígido o sintaxis, haciendo más fácil a los compiladores revisar un programa y convertirlo en secuencias adecuadas o instrucciones de computadora.

Una de las metas de la IA en el trabajo con lenguaje natural es hacer posible la comunicación entre personas y computadoras sin el problema de memorizar complejos comandos y procedimientos. Otro objetivo es la traducción automática que permite a los científicos, gente de negocio o cualquier persona, interactuar fácilmente en cualquier parte del mundo.

El procesamiento de lenguaje natural (PLN) en IA, es: **un sistema de cómputo que interpreta, analiza y maneja lenguaje natural en un idioma determinado, para que una máquina pueda establecer comunicación directa con personas.**

#### *Surgimiento*

Una de las primeras aplicaciones de PLN fue la traducción de máquinas pero a pesar de los esfuerzos, la primera generación no fue exitosa. Un acontecimiento crucial en la historia del PLN, fue el desarrollo del programa SHRDLU de Winograd en 1971. SHRDLU interpretaba instrucciones en inglés de un mundo de bloques, donde el objetivo era mover los bloques o determinar su ubicación. Para realizar el movimiento de bloques se contaba con un brazo mecánico.

---

<sup>35</sup> RUSSEL y Norving, INTELIGENCIA ARTIFICIAL. UN ENFOQUE MODERNO, págs. 729-735



### **Procesos involucrados**

Entre los procesos más importantes del PLN, están:

- **Análisis morfológico**

Consiste en describir una palabra en función de los prefijos, sufijos y raíces, que están presentes en ella.

- **Análisis sintáctico**

Es el paso en el que una oración lineal de entrada se convierte en una estructura jerárquica que se corresponde con las unidades de significado de la oración.

- **Análisis semántico**

El propósito principal del análisis semántico es la creación de una representación en el lenguaje destino (lenguaje final de representación) del significado de una oración. Impone restricciones a las representaciones que se pueden construir y, debido a las conexiones estructurales que deben existir entre la estructura sintáctica y semántica, también proporciona una forma de selección entre distintos análisis sintácticos que compiten entre sí.

- **Integración del discurso**

En un sentido técnico, un discurso es una cadena del lenguaje, por lo general con extensión superior a una oración.

- **Análisis de la pragmática**

Es el paso final hacia una comprensión eficaz y consiste en decidir que hacer como resultado. El procesamiento de la pragmática consiste en traducir, cuando sea necesario, la representación basada en conocimiento en un orden para que la ejecute el sistema.

- **Ampliación del diccionario**

Proceso de trabajar con palabras poco comunes, incluso desconocidas.

- **Ampliación de la gramática**

Para poder comprender todos los ejemplos de lenguaje natural de la vida real se necesita mayor complejidad en cada etapa del procedimiento de interpretación del lenguaje.

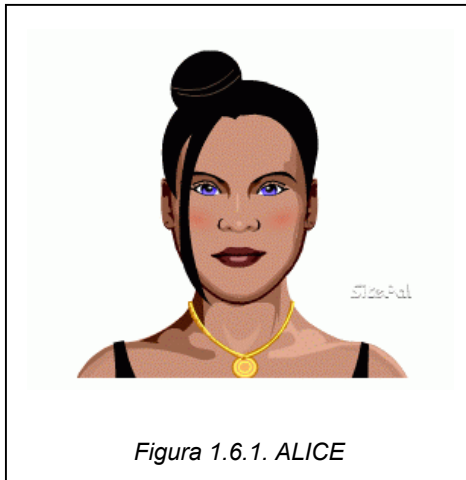
- Desambiguación

Consiste en encontrar la interpretación correcta, partiendo de un razonamiento bajo condiciones de incertidumbre con base en las evidencias de fuentes de léxicos, sintácticos, semánticas y pragmáticos.

*Ejemplo 1.6.1. Robots que hablan (Chatterbots).*

Un ejemplo de los avances del PLN, son los Chatterbots: sistemas de computación capaces de tener una conversación con una persona a través de internet.

Representan uno de los últimos resultados de la inteligencia artificial. Son capaces de reproducir las capacidades del cerebro humano con gran velocidad y exactitud en lo que se refiere a lenguaje natural.



Un ejemplo de Chatterbots es ALICE (Artificial Linguistic Internet Computer Entity, que en español significa: Entidad computacional de lingüística artificial por internet) fue creada en Bethlehem Pennsylvania, el 25 de Noviembre de 1995 por el Dr. Richard Wallace.<sup>36</sup>

ALICE es un proyecto de procesamiento de lenguaje natural que obtuvo el premio Loebner (Concurso anual para proyectos de inteligencia artificial) en el año 2000.

Su arquitectura está basada en razonamiento basado en casos. Este tipo de razonamiento se aplica de la siguiente forma: para cada entrada, el sistema encuentra la mejor coincidencia en el conjunto de patrones de frases posibles, y genera una respuesta basada en el patrón de frase al que está asociado.

---

<sup>36</sup> WALLACE, Dr. Richard. ALICE. [www.alicebot.org](http://www.alicebot.org)

## 6.2 ROBOTICA

La palabra robot se deriva de la palabra en checo *robota* que significa *trabajo servil*. La robótica es: **la rama de la ciencia que se ocupa del estudio, desarrollo y aplicaciones de los robots.**

La robótica ha seguido un proceso paralelo al desarrollo de las computadoras. Es cierto que todavía los robots no han penetrado completamente en los hogares de las personas. Aunque se han vuelto indispensables en un gran número de industrias.

La robótica desde el punto de vista de la IA, es: **el conjunto de conocimientos teóricos y prácticos que permiten concebir, realizar y automatizar sistemas basados en estructuras mecánicas multiarticuladas, dotados de un determinado grado de "inteligencia" y destinados a la producción industrial o de propósito general.**

Los robots son: **dispositivos compuestos de sensores que reciben datos de entrada y que pueden estar conectados a una computadora.** Esta, al recibir la información de entrada, ordena al robot que efectúe una determinada acción.

Una de las finalidades de la construcción de robots es su intervención en los procesos de fabricación. Estos robots, son los encargados de realizar trabajos repetitivos en las cadenas de fabricación.

### ***Surgimiento***

Un acontecimiento que marco el inicio de la robótica, es la publicación del libro de ciencia ficción "Yo Robot", por Isaac Asimov en 1939. A través de este libro se propuso las siguientes tres leyes de la robótica:

- Un robot no puede dañar a un ser humano o, a través de la inacción, permitir que se dañe a un ser humano.
- Un robot debe obedecer las órdenes dadas por los seres humanos, excepto cuando tales órdenes estén en contra de la primera ley.
- Un robot debe proteger su propia existencia siempre y cuando esta protección no entre en conflicto con la primera y segunda ley.

El primer robot industrial moderno fue "Unimates" creado por George Devol y Joe Engelberger entre 1950 y 1960. Engelberger inició la primera compañía robótica, llamada *Unimation*.

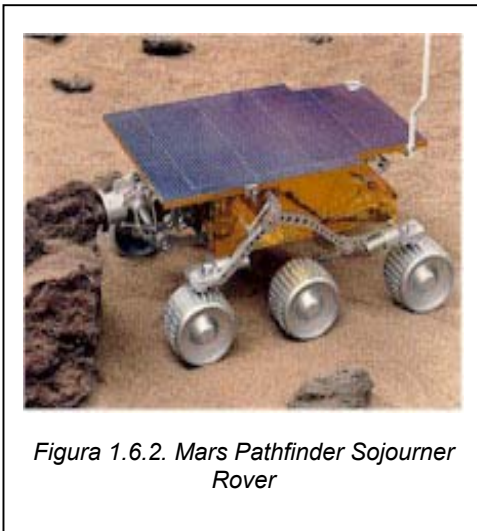
Desde 1980, los robots se han expandido por otro tipo de industrias. El principal factor responsable de este crecimiento ha sido las mejoras técnicas en los robots debidas al avance en microelectrónica e informática.

### ***Procesos involucrados***

- Reconocimiento y comprensión de escenas a través de la visión por computador.
- Análisis de fines medios como una herramienta.
- Procesamiento del lenguaje natural para la programación y control robótica.
- Reconocimiento de patrones de los datos de entrada de los sensores.
- Uso de los modelos para interpretar y controlar un ambiente operativo.
- Modelos, algoritmos y heurísticas para el aprendizaje automático.
- Supervisión en-línea de la operación del sistema.

### ***Ejemplo 1.6.2. Mars Pathfinder Sojourner Rover.***

Un ejemplo de robot es el Mars Pathfinder Sojourner Rover (Vehículo de exploración espacial Mars Pathfinder Sojourner), conocido mundialmente porque fue enviado a Marte a realizar una exploración.



El Mars Pathfinder Sojourner Rover (Sojourner) es una maquina liviana sobre ruedas que ha logrado un gran avance en la superficie de Marte. El Sojourner está equipado con ojos láser y un programa que trabaja respondiendo a “eventos sin planear” en la superficie de otro planeta.

Después de algunos días en la superficie Marciana los controladores de la NASA encendieron el sistema para evitar obstáculos y se le ordenó que comenzara a tomar sus propias decisiones.

Este sistema diferencia al Sojourner de otras maquinas que han explorado el espacio. Soujourner realizó viajes entre puntos designados sin el beneficio de información detallada sobre los obstáculos en el camino.

Sojourner llegó a Marte el 4 de Julio de 1997. Viajó un total de 100 metros maniobrado desde la tierra y realizó 6 análisis químicos de rocas y suelo. Exploró 250 metros cuadrados de superficie marciana. En el transcurso de esta misión, la nave espacial obtuvo 2.3 giga bits de información química. Incluyendo 16,500 imágenes de la cámara de aterrizaje y 550 imágenes de la cámara del Sojourner, 16 análisis químicos de piedras y suelo, y 8.5 millones de medidas de presión atmosférica, temperatura y viento.

## 6.3 VISION ARTIFICIAL

La visión involucra los procesos de adquisición y procesamiento de información visual. La IA a dado origen a tecnologías que hacen posibles avances significativos como vehículos que se conducen solos a través de súper autopistas de forma segura. Otro avance son computadoras que interpretan expresiones faciales. Al solo considerar la complejidad del análisis que el cerebro debe realizar algo tan simple, como el determinar que los cuadros negros en un tablero de ajedrez son parte de la superficie del tablero y no agujeros, se da un panorama de que tan sofisticados deben ser los sistemas de visión para realizar sus objetivos.

La visión artificial es: **el área de la IA que se ocupa de la identificación, inspección, localización y verificación de objetos a través de un sistema artificial.**

El objetivo de la visión artificial es obtener de una imagen la información necesaria y útil para la ejecución de una tarea. Es un proceso en el que se desarrolla la descripción de la escena actual a partir de una cadena de imagen. La descripción debe ser apropiada para la aplicación particular.

### ***Surgimiento***

En el año de 1965 se propone el primer paradigma de la visión artificial, “la visión como técnicas de reconocimiento, clustering y clasificación de patrones”.

En 1973, el grupo de Ensamblado de Robots de la Universidad de Edinburgh construye a Freddy, el famoso robot escocés, capaz de utilizar visión para ubicar y ensamblar modelos.

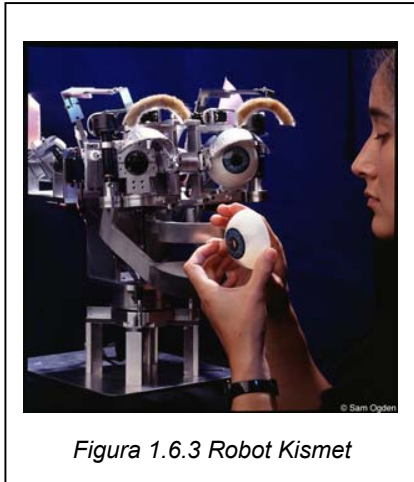
Para el año 1975 el paradigma adoptado era el de “Visión como entendimiento de imágenes (un problema de IA)”. Las técnicas utilizadas fueron segmentación y representación del conocimiento.

### ***Procesos involucrados***

- *Formación de imágenes:* hace uso de las herramientas propias de los sistemas visuales mecánicos (telescopios, microscopios, etc.), proyección en perspectiva, sistemas de lentes, profundidad de campo, fotometría y espectrofotometría de la formación de imágenes.
- *Procesamiento de imágenes:* debe realizar las operaciones de convolución usando filtros lineales y detección de bordes.
- *Obtención de información tridimensional:* donde intervienen tres aspectos; segmentación de la escena con objetos independientes, definición de la posición y orientación de cada uno de los objetos relativos al observador, y definición de la forma de cada objeto.

### *Ejemplo 1.6.3. Visión artificial del robot Kismet*

El ejemplo de visión artificial es el robot Kismet. Este robot tiene la capacidad de recrear expresiones humanas con modalidades perceptivas y motoras similares a las de una persona.



El sistema de visión de Kismet, consiste de cuatro cámaras a color (CCD) montadas en una cabeza con visión estéreo activa. Dos cámaras de campo de visión amplio están acopladas centralmente y se mueven con respecto a la cabeza. Estas cámaras de 0.25 pulgadas se utilizan para decidir a que pondrá atención el robot, y computar la distancia estimada.

También posee una cámara montada dentro de la pupila de cada ojo. Estas cámaras de 0.5 pulgadas con lentes de 8mm focales, son utilizados para resolución más alta y procesamiento por atención, como detección ocular.

Kismet posee tres grados de libertad para controlar la mirada y tres grados de libertad para controlar la nuca. Los grados de libertad son dirigidos por servo motores con codificadores ópticos de alta resolución para un control de posición más certero. Esto proporciona al robot la habilidad de mover y orientar sus ojos como un humano.

## 6.4 JUEGOS<sup>37</sup>

Tradicionalmente el estudio de los juegos ha tenido muchas justificaciones. El hecho de que existan reglas sin ambigüedades para ganar en un juego, es un problema muy bien definido. Una regla de juego crea un estado de un mundo artificial donde la granularidad es explícita. Hay un estado inicial, un estado de espacios con transiciones claras, y un conjunto de estados objetivos (metas).

Los juegos son: **un área de la IA en la que se construye una idealización de mundos en los que los oponentes (agentes hostiles) actúan de manera que logren disminuir el bienestar del jugador principal.**

Existen dos razones para que los juegos sean un dominio de exploración de la IA:

- Proporcionan una tarea estructurada en la que es muy fácil medir el éxito o el fracaso.
- No necesitan grandes cantidades de conocimiento. (Aunque depende del juego y la cantidad de reglas y combinaciones posibles)

Se trata de procedimientos de búsqueda de generación y prueba, en donde la comprobación se realiza después de cantidades distintas de trabajo realizadas por el generador.

### ***Surgimiento***

En 1950, Claude Shannon publicó un trabajo sobre cómo programar una computadora para jugar ajedrez. Desde entonces el desarrollo de programas que “juegan juegos” capaces de competir con las habilidades de un campeón mundial ha sido una meta a largo plazo en la comunidad de la IA.

Arthur Samuel comenzó a pensar en un programa de damas en 1948 pero no comenzó a codificarlo hasta algunos años después. En el lapso de tres décadas, Samuel trabajó constantemente en su programa, con desempeño dejando de lado su mayor meta, crear un programa que aprenda. El programa jugador de damas de Samuel fue reconocido por su único gane contra Robert Nealey en un juego de exhibición en 1963. Desde ese juego, mucha gente concluyó erróneamente que el juego de damas era un juego resuelto.

Desde 1970 se desarrollan torneos anuales de ajedrez de computadoras.

---

<sup>37</sup> Rich y Knight, INTELIGENCIA ARTIFICIAL, pág. 335 - 356



## Procesos involucrados

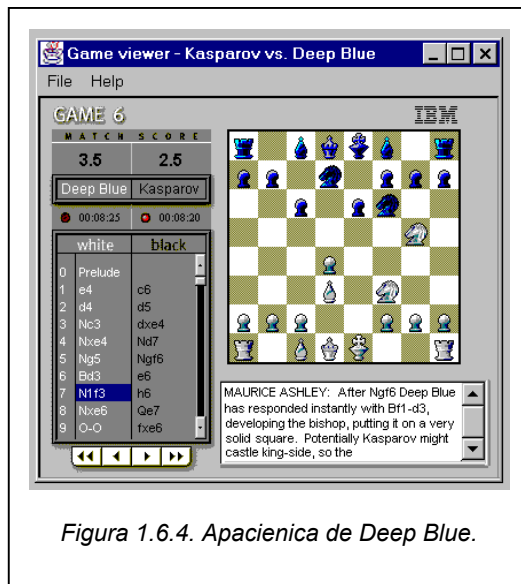
Los juegos involucran los siguientes procesos:

- Identificación de patrones
- Planificación
- Búsqueda de combinaciones
- Juzgar alternativas de movimiento
- Aprendizaje de la experiencia

### Ejemplo 1.6.4. El ajedrez con Deep Blue

El ejemplo por excelencia de los juegos es el ajedrez. Este funciona como un laboratorio bien definido para el estudio del compromiso entre el conocimiento y la búsqueda. Conforme un programa tiene más conocimiento, necesitará hacer menos búsqueda. Por otro lado, cuanto más profunda sea la búsqueda, menos conocimiento necesita.

Una computadora es capaz de evaluar millones de ramas de movimientos para decidirse por una. Su conocimiento sobre ajedrez normalmente está limitado a una función de evaluación estática. La tendencia actual en los programas de ajedrez es eliminar conocimiento e ir hacia búsquedas de “fuerza bruta” más rápidas. Resulta que la búsqueda con profundidad de extensión total (con podas) es suficiente para competir en ajedrez a niveles muy altos.



En mayo de 1997, la supercomputadora Deep Blue de IBM jugó un fascinante partido con el campeón mundial de ajedrez Garry Kasparov. Básicamente la habilidad de la computadora Deep Blue se centra en la función de evaluación. La función de evaluación es un algoritmo que mide las “bondades” de una posición cualquiera de ajedrez.

La función de evaluación de Deep Blue mide cuatro valores básicos en ajedrez: el material, la posición, la seguridad del rey y el tempo (ritmo del juego).

El material está basado en el valor de una pieza en particular. La posición se evalúa en función del Número de espacios donde puede atacar el oponente. La seguridad del rey se determina asignando un valor a la posición del rey para establecer como realizar movimientos puramente defensivos. EL tempo esta relacionado a la posición pero se enfoca en la carrera para desarrollar el control del tablero. Se dice que un jugador ha “perdido el tempo” si divaga en los movimientos mientras el oponente hace avances más productivos.

## 6.5 SISTEMAS BASADOS EN CONOCIMIENTO

Existen dos enfoques respecto a la conceptualización de los Sistemas Basados en Conocimiento (SBC):

Algunos autores como Guida y Tasso sostienen que SBC (Knowledge Based System en inglés) es el nombre más apropiado para referirse a los Sistemas Expertos. Definen un SBC como: "un sistema software capaz de soportar la representación explícita del conocimiento de un dominio específico y de explotarlo a través de los mecanismos apropiados de razonamiento para proporcionar un comportamiento de alto nivel en la resolución de problemas."

Según el cual los SBC son: **sistemas que resuelven problemas utilizando una representación simbólica del conocimiento humano. (Jackson, 1986)**

Otros autores consideran que los SE son un tipo de SBC (ver figura 1.6.5). Parten de que los primeros SBC se centraron en el desarrollo de técnicas generales para la resolución de problemas, como el STRIPS y el GPS.

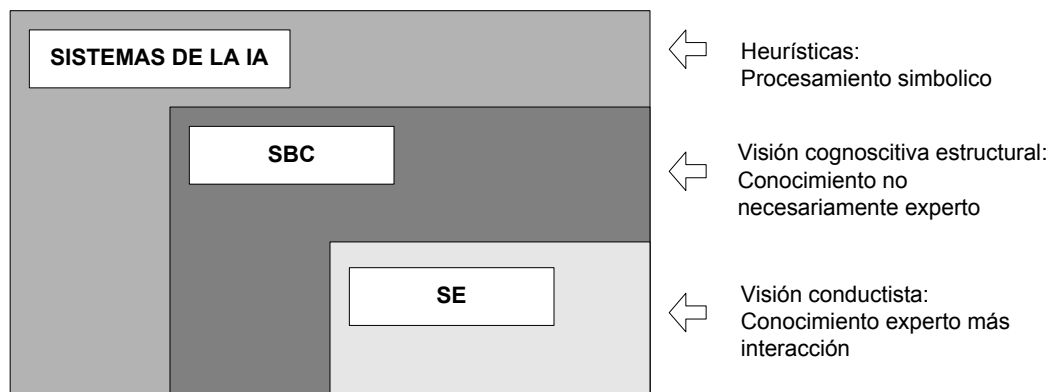


Figura 1.6.5. Ubicación de los SE en la IA<sup>38</sup>

Según esta concepción, los SE surgen a finales de los años sesenta, cuando los investigadores reconocieron que los métodos generales de resolución y técnicas de búsqueda desarrolladas hasta el momento resultaban insuficientes para resolver ciertos problemas de investigación y desarrollo.

<sup>38</sup> CASTRO Marcel, SISTEMAS EXPERTOS, Pág. 5. 2002

El resultado fue la revalorización de la metodología, se comenzó a considerar que el potencial de un computador a la hora de resolver problemas, radicaba en la cantidad y calidad del conocimiento que poseía, más que en el mecanismo de inferencia empleado.

Indirectamente se estableció que el conocimiento era mejor si era específico sobre el dominio del problema a resolver (cantidad). Además, la calidad de conocimiento requerido correspondía al de un experto. Los primeros esfuerzos de *representación de conocimiento* se hacían preguntando a los expertos humanos como resolvían un problema en particular, para luego codificar la información recogida en forma de reglas heurísticas (empíricas o asociativas) que de alguna manera describieran las características observables de las conclusiones obtenidas.

En este trabajo se adoptará este enfoque como el correcto.

### ***Surgimiento***

Los sistemas basados en conocimiento aparecen con la creación del Solucionador General de Problemas (General Problem Solver o GPS) de Newell y Simon en 1957. Fue un intento de crear un sistema de inteligencia general y además una teoría de solución de problemas utilizada por humanos. Fue el primer programa en tratar de generalizar el conocimiento, porque separaba la estructura de solución del problema de la estructura del programa para describir una tarea particular. El primer diagrama de flujo del GPS fue producido en Octubre de 1957, incluyendo el análisis de fines-medios, y el diagrama jerárquico de tareas.

### ***Procesos involucrados***

- Búsquedas
- Representación de conocimientos
- Interpretación
- Diagnóstico
- Control
- Simulación

### **Clasificación**

Los SBC se clasifican en:

- Sistemas de inteligencia general. El proceso de inferencia parte de premisas muy simples y generales. En la actualidad este tipo de sistemas son desarrollados principalmente para investigación en la psicología.
- Sistemas de razonamiento basado en modelos teóricos. El conocimiento es teórico y profundo.
- Sistemas expertos. El conocimiento pertenece a un dominio específico. Su enfoque es conductista. Se profundizará más sobre él en el siguiente capítulo.

---

---

## **CAPITULO II: SISTEMAS EXPERTOS**

---

# 1. ORIGEN Y EVOLUCION DE LOS SE

## 1.1 ANTECEDENTES

En la década de los cincuenta hubo un interés especial por parte de pedagogos y psicólogos, por encontrar los métodos generales de resolución de problemas, con el fin de enseñar estos métodos a los estudiantes y con ello mejorar su preparación. Se observó, que las personas aun conociendo toda la información necesaria para resolver correctamente un problema (definiciones, fórmulas, etc.) son muchas veces incapaces de conseguirlo, realizando con frecuencia razonamientos equivocados.

Con la difusión de las primeras computadoras en la segunda mitad de la década de los cincuenta, los estudios realizados en el campo de la resolución de problemas se trasladaron a los computadores. Surgen nuevos problemas como: la representación del conocimiento en la memoria del computador, la representación de las relaciones entre los conocimientos y otros.

En las décadas de los cincuenta y sesenta aparecieron numerosos trabajos sobre el método general y universal de resolución de problemas desarrollado sobre computadores. De ellos el logro más significativo fue el GPS, un programa creado por Newell, Shaw y Simon, de la Universidad de Carnegie Mellon en 1957.

Dicho sistema podía resolver rompecabezas y adivinanzas –como Misioneros y Caníbales, o Torres de Hanoi–, y abordar problemas significativos como la demostración de teoremas en el cálculo de predicados. El GPS, se creó para servir como solucionador general de problemas (donde general significa independiente del campo de acción). Aunque tuvo éxito en ciertas áreas, existían muchos problemas que no podía resolver. Los creadores del GPS trataron de darle poder a partir de técnicas generales de resolución de problemas.

La opinión general era que para incrementar su poder bastaba con agregar más métodos a su acervo de conocimientos. Con el tiempo se descubrió que esta opinión era errónea, porque se basaba en dos suposiciones equivocadas: que se sabe cuales métodos agregar y que los métodos generales conocidos son lo bastante poderosos para resolver muchos problemas diferentes.

El error más notable que se cometió fue emprender un problema tan general y amplio con herramientas poco adecuadas. Tanto el software como el hardware estaban adaptados al cálculo numérico y no al campo simbólico, además los conocimientos lógico-matemáticos todavía estaban en su infancia.

En 1958 John McCarthy creó el lenguaje LISP, considerado durante algo más de una década como un lenguaje inútil (“List of Inspid and Stupid Parenthesis”). Posteriormente el “Principio de resolución automática”, formulado por J. A. Robinson en 1965, fue la base de PROLOG. Creado en la universidad de Marsella en 1972 por Alain Colmerauer.

## 1.2 SURGIMIENTO

Al final de la década de los sesenta, los planteamientos en el campo de la resolución de problemas cambiaron. Desconociéndose los mecanismos generales de resolución de la mente humana se pensó en simularlos para campos muy concretos del conocimiento.

El manejo eficaz de los conocimientos dio sus primeros éxitos: **los sistemas expertos**. Este hecho llenó de optimismo a la comunidad científica que entre otras cosas había visto como las asignaciones presupuestarias por parte de los gobiernos disminuían y en muchos casos desaparecían ante la falta de logros palpables en el campo de la IA.

Según Peter S. Sell (1992), para enmarcar el surgimiento de los SE, se han identificado cuatro sistemas que merecen especial atención; por considerarse como los “*grandes sistemas originales*”: DENDRAL, MYCIN, PROSPECTOR y R1.

### DENDRAL

El precursor de los SE actuales es el sistema DENDRAL (que es una abreviatura de Dendritic Algorithm - algoritmo dendrítico -), diseñado en 1964 por Joshua Lederberg, profesor de Genética de la Universidad de Standford, fue terminado hasta 1969.

El propósito inicial de DENDRAL era brindar a los químicos una lista de verificación para los compuestos que estuvieran tratando de identificar. Un año después se modificó el proyecto, su nuevo objetivo era identificar compuestos moleculares a partir de datos analíticos. Utilizaba para la representación del conocimiento las *reglas de producción*, aunque su modo de funcionamiento se acercaba más a la filosofía de la resolución automática que a la de los SE. DENDRAL se convirtió en un poderoso recurso intelectual que podía resolver problemas difíciles en un espacio de la ciencia con teorías aún no comprobadas.

El éxito de este sistema se debió, a que buscó soluciones en la dirección contraria a los demás. Mientras que otros buscaban métodos generales para resolver problemas, independientes del



campo de actividad, en este proyecto se buscaban métodos específicos, dependientes del campo de actividad. Algunos años más tarde, el profesor Feigenbaum bautizó este cambio de dirección como “*cambio de paradigma en IA*”, en donde se sustituyeron las técnicas basadas en el poder por otras basadas en el conocimiento. La nueva dirección tuvo éxito y estableció las bases de los SE.

Al final de los años sesentas, DENDRAL ya creaba hipótesis exitosas sobre la estructura molecular de compuestos desconocidos a partir de sus espectrogramas de masa.

El DENDRAL hoy en día es una familia de programas, donde el algoritmo original esta en el centro. La ampliación más importante fue la que tomó el conjunto generado de casos posibles y lo redujo a un conjunto casos probables. Para lograrlo tuvo que almacenar y utilizar conocimientos heurísticos (o reglas basadas en hechos químicos, en leyes de la química, el criterio, y el conocimiento de los expertos).

La década siguiente presencié el desarrollo del MYCIN y el PROSPECTOR, dos sistemas que muchos consideran como los modelos intelectuales de los SE.

## **MYCIN**

El trabajo para desarrollarlo se inicio el año de 1974 en la Universidad de Stanford, por Feigenbaum, Buchanan y el doctor Edward Shortliffe. Su nombre proviene del sufijo que se encuentra comúnmente en los nombres de muchos agentes antimicrobianos (como en “estreptomicina”).

El MYCIN fue diseñado para ayudar al médico en el diagnóstico y terapia de enfermedades infecciosas de origen bacteriano. Al examinar detalladamente la tarea del médico, es posible observar que tiene cuatro decisiones por tomar: si el paciente sufre de alguna infección bacteriana, que organismo es el causante, que fármacos podrían ser adecuados y cuales de ellos administrar.

El MYCIN fue creado para ayudar a tomar estas cuatro decisiones. La forma en que ayuda es la siguiente: con base en los datos del paciente y en los resultados del análisis, llega a una conclusión para cada una de las cuatro preguntas; exhibe estas conclusiones y su correspondiente grado de certeza. A continuación podría exhibir, si se le solicita, la línea de razonamiento que siguió para llegar a esas conclusiones, las reglas que utilizó durante el proceso, las opciones que rechazó e incluso las referencias de artículos y otras publicaciones que sirven para respaldar tales reglas. Provisto de esta información, el médico estará en una excelente posición para formarse su propia opinión.

Las reglas que utiliza se obtuvieron de especialistas en el campo de las infecciones bacterianas. En una serie de pruebas seleccionadas entre diversos casos de infección de la sangre, se compararon las conclusiones del MYCIN con las de médicos especialistas y generales. El MYCIN tuvo un desempeño tan bien como el de los expertos y mejor que el de los médicos generales.

A pesar de los buenos antecedentes de MYCIN no se utilizó clínicamente. La razón principal de esto fue que los médicos no acostumbran utilizar computadoras en tareas que pueden llevar a cabo ellos mismos. También existen otras razones: el programa exigía una máquina de gran capacidad (la implementación original se realizó en una PDP10 con 256k de memoria); requería de 20 a 30 minutos por consulta y no tenía acceso a los expedientes clínicos, de tal forma que todos los datos del paciente debían introducirse durante la consulta. Por esa razón, el uso que se le dio fue como medio de enseñanza, gracias a sus excelentes recursos explicativos.

## **PROSPECTOR**

El PROSPECTOR es un sistema computarizado de consulta que se diseñó para ayudar a los geólogos en la búsqueda de depósitos de minerales y en la evaluación del potencial mineralógico de grandes zonas geográficas.

Este SE, fue desarrollado en el Stanford Research Institute en 1978. Al igual que el MYCIN, se trata de un sistema basado en reglas obtenidas de especialistas. El PROSPECTOR contiene varios modelos geológicos diferentes; se tienen informes sobre tres diferentes modelos de depósitos de arenisca uranífera, modelos de cobre profirico y de molibdeno profirico.

La tarea del geólogo al evaluar una zona se dificulta porque los indicios reveladores de un determinado yacimiento siempre están sujetos a error y no siempre se encuentran todos presentes. Por consiguiente, debe colocar en la balanza los signos a favor y en contra, evaluar su importancia relativa y emitir un juicio de probabilidad. Por lo general es grande el número de factores que debe considerar y la importancia de ellos resulta relativa. Estos factores hicieron que la adquisición de reglas fuera problemática y difícil.

Sin embargo, cuando se pusieron a prueba los modelos comparándolos con las zonas conocidas de prospección y la opinión de los expertos, se descubrió que PROSPECTOR concordaba dentro de un margen del 7%. Entre sus méritos destaca el descubrimiento en 1980 en el estado de Washington de un importante yacimiento de molibdeno que fue posteriormente confirmado mediante prospección.

## R1

Probablemente el R1 (también conocido como XCON) es el más exitoso de los sistemas expertos que se utilizaron en esta época. Fue desarrollado por John McDermott y sus colegas en la Universidad Carnegie-Mellon (CMU), a petición de Digital Equipment Corporation (DEC).

El propósito de XCON sería configurar todos los computadores que saliesen de la DEC. El proyecto presentó resultados positivos y se empezó a trabajar en el proyecto en diciembre de 1978, El programa entró en operación hasta el mes de enero de 1980. En esa época tenía alrededor de unas 400 reglas, que han aumentado hasta más de 4000.

En DEC se calculaba que para 1984 hubieran necesitado 80 empleados más sin el R1, y están convencidos de que el programa efectúa el trabajo mucho mejor de lo que podría hacerlo el ser humano. En efecto, están tan convencidos del poder de la técnica que pretenden utilizarla en todos sus sentidos. Para ayudar al personal de ventas y al cliente en la selección de configuraciones coherentes que se ajusten de la mejor manera a las necesidades, ayudar en la preparación del lugar de trabajo, para programar la producción y entrega de las configuraciones ordenadas, para ayudar a organizar las actividades de la fábrica, en el control de materiales y almacenes, y en otras tareas.

En un principio, los SE eran programados desde cero (uniendo el dominio del conocimiento y la estrategia de solución). Después de la creación de los primeros SE, se descubrió que el conocimiento podía separarse del interprete, y así se pudo crear un sistema capaz de construir nuevos SE, sin más que añadir nuevos conocimientos correspondientes al dominio de otro problema, los interpretes resultantes se llaman Shell. Fue así como en 1979 fue desarrollado EMYCIN (proveniente de Empty MYCIN); una ampliación del MYCIN que permitió establecer el modelo de muchos “shells” para sistemas expertos comerciales.

Según Sánchez y Beltrán (1990), en la *década de los ochenta*, la investigación y desarrollo de SE está orientada a dos líneas de trabajo principales:

- Divulgación o popularización de los SE como una metodología que puede resolver de una forma adecuada múltiples problemas. Esta línea ha materializado sus investigaciones en el desarrollo de lenguajes, herramientas, entornos y sistemas vacíos que funcionan en pequeños computadores (mini computadores y estaciones de trabajo).

- Generalización de los SE que permitan ampliar el campo de conocimientos cuyos primeros logros han sido la comercialización de computadores o máquinas simbólicas y el desarrollo de los computadores y lenguajes paralelos.

Entre 1980 hasta 1985 se crearon diversos SE como el DELTA, de General Electric Company (para la reparación de locomotoras diesel y eléctricas). Además, se establecieron empresas dedicadas al software de sistemas expertos como: Teknowledge Inc., Carnegie Group, Intellicorp, etc. así como compañías de hardware: Symbolics, LISP Machines Inc., Thinking Machines Corporation, Cognitive Systems Inc., Xerox, etc.

En 1987, XCON ocasiona gastos por más de dos millones de dólares al año por causas de mantenimiento, considerándose un sistema no rentable. También en 1987 aparecieron los microcomputadores Apple y compatibles IBM con una potencia parecida a los LISP. El software se transfirió a máquinas convencionales utilizando el lenguaje "C".

En la *década de los noventas*, se presentó un auge en el desarrollo de la informática, se produjo un amplio desarrollo en el campo de la IA y los SE, pudiéndose afirmar que estos se han convertido en una herramienta habitual en determinadas empresas en la actualidad.

**Esquema de la evolución de los Sistemas Expertos**

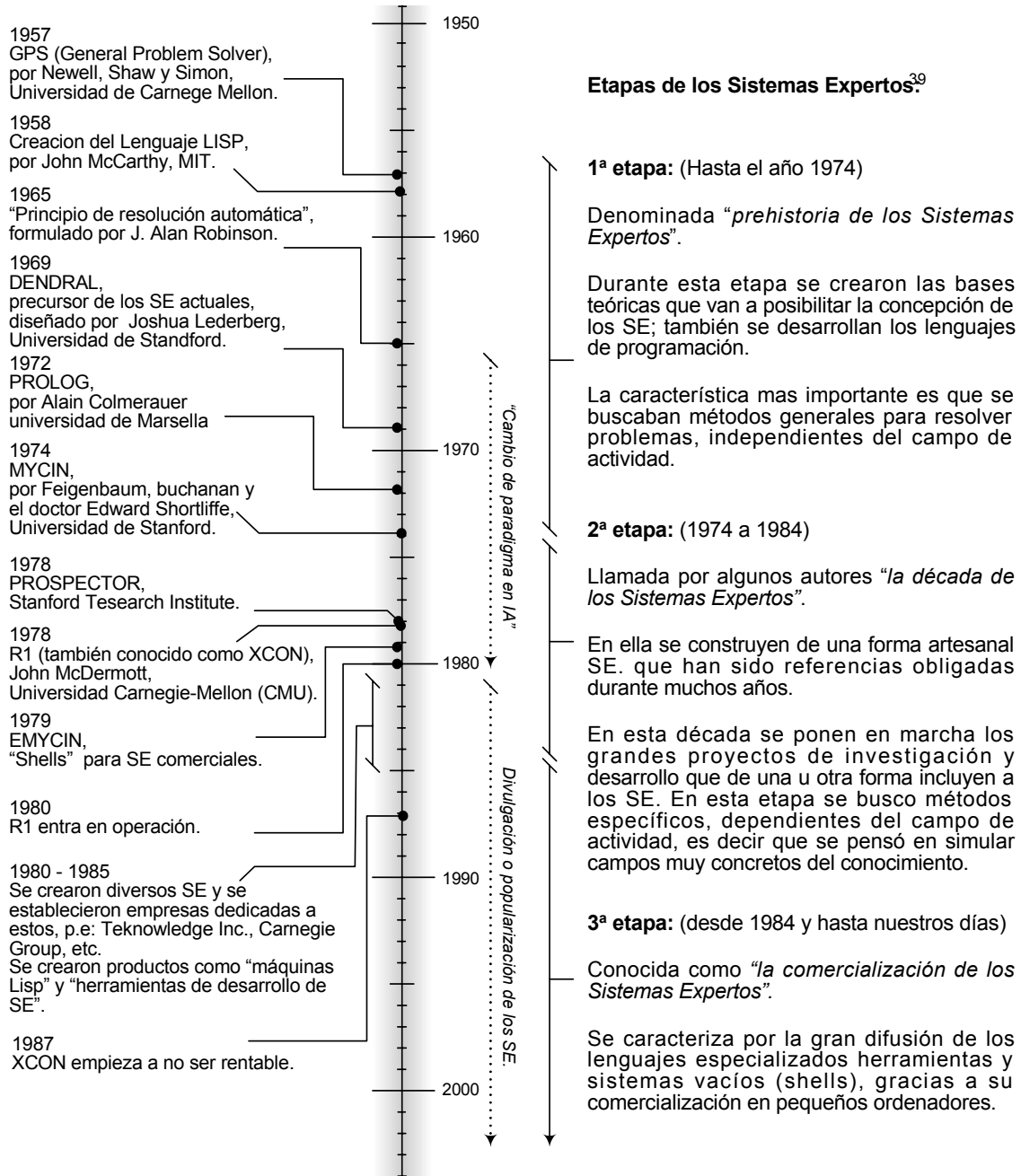


Figura 2.1.1. Etapas y acontecimientos relevantes de la evolución de los SE.

<sup>39</sup> SÁNCHEZ y Beltrán. SISTEMAS EXPERTOS. Una metodología de programación, pág 27.

## 2. DEFINICION DE SISTEMAS EXPERTOS

### 2.1 EXPERTO HUMANO

Se entenderá como un experto, a una persona con la capacidad de aplicar su conocimiento de manera eficiente (pericia), para emitir un diagnóstico y alternativas de solución a un problema complejo dentro de un área determinada del conocimiento.

Según Sánchez y Beltrán (1990) las diferencias entre un experto y un no experto humano se resumen en el cuadro 2.2.1.

La manera más rápida de formar un experto es en principio mediante el aprendizaje formal o académico (“conocimiento profundo”), y posteriormente un aprendizaje informal o práctico (“conocimiento superficial”).

Cuadro 2.2.1. Diferencias entre un experto y un no experto humano

	EXPERTO	NO EXPERTO
Tiempo de resolución.	Pequeño	Grande
Eficacia	Alta	Baja
Organización	Alta	Baja
Estrategias y tácticas	Si	No
Búsqueda de soluciones	Heurística	No heurística
Cálculos aproximados	Si	No

### 2.2 DEFINICION DE SISTEMA EXPERTO

Como se definió en la sección *áreas de la IA*, los SE son un tipo de SBC. Con el objetivo de obtener una definición de SE a continuación se analizarán algunas definiciones planteadas por distintos autores.

Cuadro 2.2.2. Diferentes definiciones de SE.

AUTOR	AÑO	DEFINICION
Hayes-Roth	1983	“Son programas que aplican conocimientos substanciales de áreas específicas de la experiencia humana a la solución de problemas, y que poseen como dato conocimiento humano consistente en hechos y heurísticas sobre una tarea o un dominio”.
Forsyth	1986	“Un SE es un programa de ordenador que reemplaza a un experto humano [...] si la ejecución de un conjunto de programas de ordenador puede convencernos de que su comportamiento es el que tendría un experto humano, entonces este conjunto de programas es un verdadero SE”.
Sánchez y Beltrán	1990	“Un sistema experto o Sistema Basado en el Conocimiento, es un conjunto de programas de ordenador que son capaces, mediante la aplicación de conocimientos, de resolver problemas en un área determinada del conocimiento o saber y que ordinariamente requerirían del conocimiento de un experto humano.”
Peter S. Sell	1992	“Un sistema experto es un sistema basado en el conocimiento que emula el pensamiento de los expertos para resolver problemas significativos en un campo específico de conocimiento especializado”.

De las definiciones anteriores se extraen los siguientes elementos:

- Un SE está desarrollado en un dominio (área del conocimiento) específico.
- Utiliza el conocimiento sobre ese dominio, basado en el conocimiento empírico y teórico que el experto ha recopilado durante el ejercicio de su actividad.
- Intenta reproducir la metodología de aplicación del conocimiento que utilizará un experto humano para obtener sus conclusiones.

Sobre la base de los elementos anteriores, se propone la siguiente definición de SE:

**Es un sistema basado en conocimiento que emite juicio o razonamiento válido, a través de un modelo aproximado de la estrategia de resolución de problemas utilizada por un experto humano en un dominio específico.**

## 2.3 CLASIFICACION DE LOS SISTEMAS EXPERTOS

Davis (1985) clasifica los SE, en tres tipos:

1. **Asistente:** Un sistema pequeño. Realiza un subconjunto de una tarea experta. Es valioso económicamente, pero técnicamente limitado. Muchos de estos asistentes se implementan en computadoras personales. Un ejemplo de este tipo de SE es el XCON.
2. **Colega:** De tamaño mediano. Realiza una parte más significativa de una tarea experta. Estos sistemas se implementan tanto en computadoras personales, como instalaciones más grandes. Ejemplo de este tipo de SE es el MYCIN.
3. **Experto:** Sistema grande. Se acerca al nivel de desempeño de un experto humano dentro de un dominio específico. Normalmente, se implantan en potentes instalaciones utilizando herramientas complejas de desarrollo. Ejemplo de este tipo es PROSPECTOR.

## 2.4 CARACTERISTICAS DE LOS SISTEMAS EXPERTOS

Por ser un área aún en desarrollo, no se ha alcanzado un consenso general sobre las características que se les atribuyen a los SE.

Cada autor propone características que se abordan desde dos enfoques: técnico y la similitud con las características que presentan los expertos. A continuación se describen las características comunes de ambos enfoques:

- *Dominio del conocimiento en el área de especialización.*

Se observa a través de la historia, que la clave del éxito de los primeros SE consiste en delimitar el campo de conocimientos dentro de los cuales se intenta brindar soluciones.

El sistema debe ser eficaz en el área identificada; para esto debe guardar un equilibrio al mantener el dominio de actividad lo suficientemente estrecho para que sea funcional y lo suficientemente amplio para que sea útil.<sup>40</sup>

---

<sup>40</sup> SELL, Peter S., SISTEMAS EXPERTOS PARA PRINCIPIANTES, págs. 21-27.



El conocimiento en el caso de los SE actuales debe introducirse previamente, y proviene principalmente de la experiencia práctica de los expertos.

- *Estrategia de resolución de problemas.*

Un experto humano es capaz de resolver de una forma rápida y eficaz un problema completamente nuevo dentro de su campo, esto se debe a que el experto posee además de conocimiento y estrategias básicas de resolución, numerosas tácticas que evitan pruebas inútiles, y también suelen realizar con gran seguridad cálculos aproximados.

En un SE la estrategia general de resolución es realmente el control del sistema, que se denomina *motor de inferencia*.<sup>41</sup>

- *Capacidad de explicar sus conclusiones y el proceso de razonamiento.*

Esta característica es importante porque ayuda a evaluar la fiabilidad del sistema. Usualmente se evalúa a un experto humano en función del nivel de explicación que proporciona, tras haber resuelto un problema.

Los SE deben ser capaces de justificarse, particularmente en tres aspectos:

- a. Capacidad de explicar cómo extrajo sus conclusiones a partir de los datos proporcionados. Esto facilita manejar las conclusiones con las que el usuario esté en desacuerdo. La explicación permitirá al usuario ya sea corregir su propia opinión del caso o rechazar la del sistema; al menos recibirá la suficiente información para tomar una decisión.
- b. Capacidad de explicar porqué necesita un dato en particular. Es importante en los casos donde la obtención de la información sea costosa (como puede suceder en un sistema médico), o requiera pruebas cuya obtención sea difícil. Si cuenta con dicha facilidad, el usuario podrá evaluar el mérito de cada caso y en consecuencia tomar una decisión.
- c. Capacidad de explicar porqué no ha llegado a una determinada conclusión, o emitido una recomendación en particular. Esta clase de explicación en ocasiones puede ser más reveladora que cualquier otra información de salida. Este aspecto no es indispensable, pero puede resultar sumamente útil.

---

<sup>41</sup> SANCHEZ y Beltrán, SISTEMAS EXPERTOS. UNA METODOLOGIA DE PROGRAMACION, págs. 21,22.

- *Procesamiento simbólico.*

Utiliza representaciones simbólicas basadas en un número finito de primitivas y de reglas para la manipulación de símbolos.

En un SE, el conocimiento tiene que estar en forma de unidades elementales (hechos). Existe un gran número de fenómenos observables que no son regulares. También ocurre que puede ser muy difícil plantear el fenómeno. Es entonces, cuando la representación simbólica se vuelve relevante.

El procesamiento simbólico es muy potente, pero poco preciso. Entre más representación simbólica utilice el SE, menor será su efectividad en los cálculos. (Esta característica está íntimamente relacionada con la representación del conocimiento).

- *Otras características importantes son:*

1. Soporte para análisis heurístico (algoritmos fruto de la experiencia).
2. Flexibilidad. Facilidad con la que puede modificarse la base de conocimientos sin afectar el resto del sistema.

En un programa de cálculo numérico, el algoritmo y los datos deben estar completos para que funcione correctamente. Si alguno de los dos está incompleto, el sistema genera error. En contraste, un SE puede y debe funcionar correctamente aunque la base de conocimiento esté incompleta.

Los SE nunca se consideran terminados, simplemente están abandonados hasta que llega el momento de ampliar sus conocimientos o corregirlos. Es necesario que cuente con un mecanismo sencillo para realizar dichas modificaciones. Si no es posible dar cabida a este crecimiento y cambio, la vida útil del sistema termina.

Su flexibilidad lo convierte en un programa muy rentable y productivo al no “envejecer” y poderse adaptar a las necesidades, criterios, políticas, etc., de cada momento o situación.

## 2.5 ARQUITECTURA DE LOS SE

La composición de un programa tradicional se puede resumir de la siguiente forma: entradas, salidas, datos (constantes o variables), algoritmos (lógicos o aritméticos) y sentencias de control, todo ello formando una misma unidad.

DATOS + ALGORITMOS + CONTROL + ENTRADAS / SALIDAS = PROGRAMA

Los elementos anteriores están íntimamente relacionados entre sí, pues la elección de la forma en que se implementará cada uno depende de la implementación de los elementos restantes.

En un SE los elementos están orientados a la manipulación del conocimiento, de la forma siguiente:

- La **base de hechos** contiene el conocimiento que describe el problema particular a resolver en un momento determinado (ontología).
- En la **base de conocimientos** se encuentra el conocimiento del dominio particular en el que trabajará el sistema (ontología general). Este conocimiento es el que describe la forma en como será utilizado el conocimiento que se encuentra en la base de hechos.
- El control es independiente y se denomina **motor de inferencia** y es el mecanismo que se encarga de seleccionar e interpretar el conocimiento que se encuentra en la base de conocimientos y aplicarlo sobre la base de hechos, con el fin de obtener la solución buscada.
- Las **entradas** y **salidas** de un SE son manejadas de la misma forma que en los sistemas tradicionales.

Lo anterior se puede resumir de la siguiente forma:

(BASE DE HECHOS, BASE DE CONOCIMIENTOS, MOTOR DE INFERENCIA, ENTRADA / SALIDA) = SISTEMA EXPERTO.

Así, los elementos básicos que forman la arquitectura de un SE son:

1. *Motor de inferencia (MI)*
2. *Base de hechos (BH).*
3. *Base de conocimiento (BC)*
4. *Los módulos de comunicación o de entrada/salida que se subdivide en:*
  - El módulo de consulta o del usuario (Interfaz de usuario).
  - El módulo de trabajo o del experto (Interfaz de experto).

La figura 2.2.1 muestra un modelo de la arquitectura de un SE.

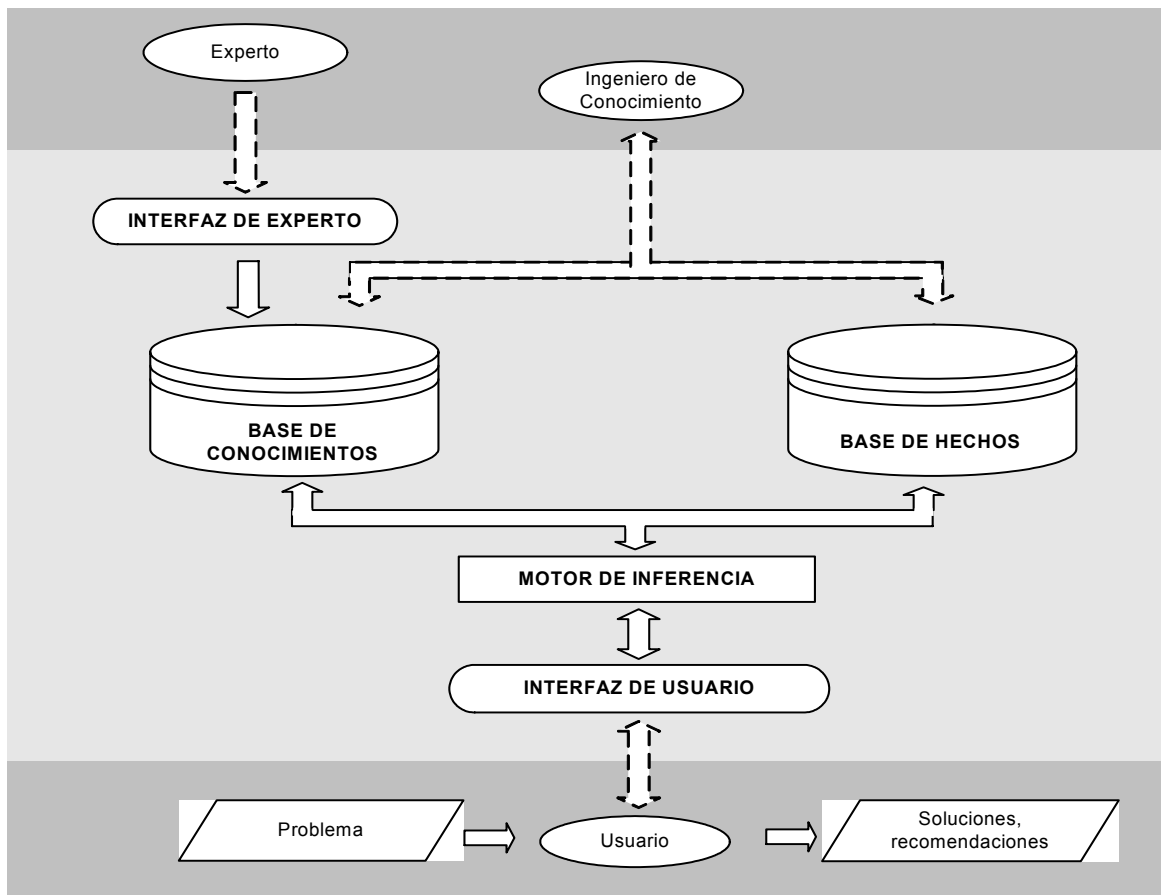


Figura 2.2.1. Arquitectura de los sistemas expertos.

### 2.5.1 MOTOR DE INFERENCIA

Por su naturaleza, los SE deben ser altamente flexibles ya que tratan situaciones cambiantes. La capacidad para responder ante tales situaciones, depende de la habilidad para inferir nuevo conocimiento a partir del que se posee. A manera de ejemplo, consideremos los siguientes hechos básicos:

- Todos los peces viven en el agua.
- Todos los salmones son peces.

Un SE debería inferir un nuevo hecho, “Todos los salmones viven en el agua” a partir de los dos hechos anteriores.

En general, para responder a una situación específica un SE debe elegir el conocimiento apropiado, lo que implica que el conocimiento requerido fue identificado como existente en la base de conocimiento. Dicho de otra forma “inferido a partir del que se tenía”. El ejemplo anterior aunque sencillo, plantea a grandes rasgos el proceso de deducción de conocimiento; que constituye un elemento clave en el procesamiento de un SE.

Un motor de inferencia (inference engine en inglés) es realmente el mecanismo de control del SE, que construye de una forma dinámica las soluciones mediante la búsqueda y selección del conocimiento.

El MI selecciona, decide, interpreta y aplica el conocimiento de la BC sobre la BH, con el fin de obtener la solución buscada.

Lo que algunos autores conocen como el *paradigma* del MI es la estrategia de resolución, que hace referencia a las técnicas de búsqueda utilizadas en la selección del conocimiento que debe aplicarse, vistas en la sección *Técnicas de búsqueda*.

El funcionamiento general de un MI es el siguiente:

1. Evaluación: Seleccionar el conocimiento a emplear.
2. Comprobación: Comprobar que el conocimiento es aplicable.
3. Ejecución: Aplicar el conocimiento a los hechos.
4. Comprobación: Comprobar la condición de final.
5. Control: Controlar las reglas activas.

## 2.5.2 BASE DE CONOCIMIENTOS

La BC es la parte de un SE que contiene el conocimiento del dominio dentro del cual se establece su capacidad para actuar como un experto (ontología general). En otras palabras, es un depósito de hechos fundamentales (oraciones atómicas<sup>42</sup>) relacionados como implicaciones y heurísticas denominadas reglas.

Según los investigadores de Texas Instruments una demostración interesante se consigue con unas 50 reglas, un prototipo que intente convencer debe tener unas 250 reglas, un SE operacional de tipo medio tiene entre 500 y 1,000 reglas, la experiencia humana se estima en unas 100,000 y el sentido común en unos 2,000,000 de reglas. En la actualidad, los SE operacionales contienen de 200 a 4,000 reglas.

La BC además debe de ser desde el punto de vista lógico, completa y coherente; y desde el punto de vista funcional debe de ser rápida, modular, fácil de desarrollar y mantener.

## 2.5.3 BASE DE HECHOS

La BH es el conjunto de hechos que representan la ontología del caso particular que se desea resolver. Al aplicar la base de conocimientos sobre estos hechos particulares, el sistema es capaz de obtener conclusiones y tomar decisiones.

La BH puede variar en la representación de la arquitectura de un SE de acuerdo al autor, pero la función es la misma. Por ejemplo, en algunas arquitecturas puede aparecer solamente la BC, considerándose que la BH se encuentra dentro de la BC. En otras representaciones, a la BH se le llama *memoria de trabajo* y se encuentra separada de la BC. Cuando el SE interactúa con un sistema tradicional, la base de datos se incluye en la BH. En otros casos se considera que la base de datos es la BH.

En este documento, se representa por separado la BC, la BH, y la base de datos (que será tratada desde el enfoque tradicional), de acuerdo a los conceptos de **hecho** y **dato**.

Se denomina **hecho** a una declaración que relaciona elementos de la realidad con referencia a un dominio específico. Un ejemplo de hecho podría ser: “los pulpos pertenecen al grupo de los

---

<sup>42</sup> El término: **oraciones atómicas** corresponde a la Lógica de predicados (ver apartado *Técnicas de representación del conocimiento*). La lógica de predicados define una oración atómica como la relación entre dos objetos del mundo, mediante la cual se afirma un hecho.

cefalópodos”. Una característica importante de los hechos es que su comportamiento en el proceso de resolución de un problema depende de su función.

Los hechos que son colocados en la BC son pocos susceptibles a ser modificados. Los hechos colocados en la BH tienen como función representar el estado del ambiente del sistema, por lo que son más susceptibles a ser modificados en la medida en que el ambiente cambie. El ejemplo anterior corresponde a un hecho que se ubica en la base de conocimientos. Aunque el ambiente del sistema cambie, el hecho de que los pulpos pertenecen al grupo de los cefalópodos seguirá siendo válido.

Los **datos** por el contrario no describen relaciones entre objetos de la realidad. Por lo que son utilizados de acuerdo a la información que se desea obtener de su procesamiento. Por ejemplo, si el dato que analizamos es la cantidad de préstamos otorgados por una institución, el dato puede ser \$200, \$300, \$150, etc. Ninguno de estos datos por sí solos dice algo, es necesario dimensionarlos para que puedan ser utilizados. Así, se puede decir que el primer mes la institución otorgó \$200 en préstamos hipotecarios, el segundo mes otorgó \$300 y el tercer mes \$150. Puede observarse que ahora estos hechos constan de tres datos: la cantidad prestada, el periodo de tiempo en que se otorgó y a que cartera fue dirigida.

Adicionalmente, las palabras: *primer*, *segundo* y *tercer* describen características del objeto mes, y la palabra *otorgó* describe la relación entre los objetos institución, la cantidad prestada y la cartera destino. Esta diferencia es importante pues los *hechos* pueden formar parte del SE, mientras que los *datos* deben estructurarse en archivos independientes (por ejemplo las bases de datos transaccionales) del programa principal que constituye el SE.

## 2.5.4 MODULOS DE COMUNICACION

El SE consta de dos módulos de comunicación (MC): el módulo de comunicación del experto y el módulo de comunicación del usuario. Por otra parte, el SE también puede comunicarse con otros programas (p.ej.: bases de datos) o dispositivos (p.ej.: sensores, lectores ópticos, etc.).

En general, un módulo de comunicación debe ser:

- Rápido, con el fin de que la comunicación sea rápida y que no sea pesada para el usuario.
- Potente, para que admita estructuras flexibles que sean cercanas al lenguaje natural.
- Sencillo, que no implique el estudio de complejas estructuras y extensos vocabularios.
- Adecuado, para que trabaje en el nivel de cada uno de los usuarios que tenga el sistema.

## MODULO DEL EXPERTO

El módulo de comunicación con el experto realiza varias funciones, lo que normalmente lleva a la división del mismo en los siguientes submódulos:

- Adquisición de conocimientos: permite la inclusión del conocimiento del experto en la BC. Solamente se utiliza en la etapa de construcción del SE.
- Mantenimiento del conocimiento: se mantiene durante toda la vida del SE, con el fin de modificar e incrementar la BC, de una forma sencilla.
- Validación y depuración del conocimiento: permite detectar repeticiones, inconsistencias, errores, etc.
- Configuración del sistema: permite adecuar el motor de inferencia y el módulo de comunicaciones a los requerimientos de usuarios. Si el SE es desarrollado desde un lenguaje de alto nivel, este submódulo realmente es el editor del lenguaje,

## MODULO DEL USUARIO

El módulo de comunicación con el usuario debe permitir el diálogo de forma sencilla entre el usuario y el SE, aproximándose lo más posible al lenguaje natural.

Las tareas más importantes que desempeña este módulo son:

- Entrada de datos
- Entrada de opciones
- Salida de explicaciones
- Salida de justificaciones
- Salida de soluciones

En muchas aplicaciones pueden requerirse distintos módulos de comunicación dependiendo del usuario. Por ejemplo, un operario de una línea de producción y el supervisor de dicha línea requieren módulos distintos.

El módulo del usuario ideal sería aquel que adaptara el nivel de las explicaciones y justificaciones al nivel del usuario, ya que de otra forma la relación del usuario con el SE puede ser “pesada” si da más explicaciones de las necesarias o incomprensible si da menos.



## 2.6 TAREAS QUE REALIZAN LOS SE

Existen cinco tareas principales hacia los cuales puede orientarse el desarrollo de los SE:

- Interpretación
- Diagnóstico
- Control
- Reparación, corrección o terapia.
- Simulación, pronostico o predicción.

### Interpretación

Un SE orientado a la interpretación, tiene como objetivo primordial encontrar el significado de los datos de entrada. Los datos pueden ser obtenidos mediante sensores o introducidos por el usuario.

Cuando los datos no son ciertos, exactos y completos, la tarea de la interpretación se complica. Con frecuencia aparecen datos contradictorios por lo que hay que dotar al SE de conocimiento para resolver este tipo de problema. En general pueden tratarse mediante: la valoración de forma conjunta (uso de medias, medias ponderadas, etc.), descartando alguno de ellos (valor de los datos, etc.) o la imposibilidad de realizar la interpretación.

Existen dos tipos de interpretación:

- *Análisis*: la interpretación de los datos se obtiene mediante la separación o distinción de las partes que forman los datos. Por ejemplo: "Que la temperatura corporal sea de 39 grados, significa fiebre".
- *Síntesis*: la interpretación de los datos se obtiene mediante la combinación de los mismos. Por ejemplo: "Si existe enrojecimiento de los ojos, lagrimeo y fotofobia significa que existe una inflamación ocular".

El sistema experto PROSPECTOR puede clasificarse dentro de los sistemas expertos más conocidos en interpretación.

## Diagnóstico

El diagnóstico tiene como objetivo identificar las causas internas que provocan un determinado problema, avería o disfunción, partiendo de una serie de datos o síntomas observables y sus consecuencias.

Para realizar un diagnóstico, es necesario la interpretación previa de los datos. Esto puede ser realizado directamente por el experto, un SE independiente o incluido en el sistema experto de diagnóstico.

Según Sánchez y Beltrán, existen dos formas de búsqueda de un diagnóstico correcto:

- *Selección*: Consiste en la selección del mejor diagnóstico entre un conjunto de diagnósticos predefinidos. Características que debe poseer:
  - El número de diagnósticos posibles es pequeño.
  - Hay un número de diagnósticos conocido.
- *Construcción*: Consiste en elaborar el diagnóstico. Características que debe poseer:
  - El número de diagnósticos posible es muy elevado.
  - No se han definido todos los diagnósticos posibles en el SE.
  - Existen diagnósticos compuestos por varios diagnósticos.

El sistema experto orientado al diagnóstico, puede encontrar las siguientes dificultades:

- Manifestaciones nuevas, que se refiere a síntomas que no se han observado en situaciones anteriores.
- Causas nuevas que propicien el problema.
- Manifestaciones debidas a causas diversas, para esto es necesario hacer varias comparaciones realizadas con cierto orden.
- Datos inaccesibles, caros o de obtención peligrosa, haciendo necesaria una valoración de la importancia de los mismos para realizar el diagnóstico, y el costo de su obtención.
- Relaciones no biyectivas entre los datos y las causas, pueden existir distintas causas que presentan los mismos síntomas y o una causa que puede presentar diversos síntomas.
- Fallos o averías de aparición intermitente.

- Existencia de varios fallos simultáneos o en cadena, lo que provoca la posible aparición de síntomas contradictorios, la aparición sucesiva de síntomas, o el enmascaramiento de unos síntomas por acción de otros.

## Control

El objetivo de un SE de control es la realización de las tareas de interpretación, diagnóstico y reparación de forma secuencial, para guiar un proceso o sistema.

Desde hace tiempo, las computadoras han sido utilizadas para realizar tareas de control de procesos en diversidad de campos, con una gran flexibilidad. Gracias a la programación, el aporte de los sistemas expertos es la incorporación de inteligencia al proceso de control al realizar un diagnóstico previo a la reparación.

Este tipo de sistemas es complejo debido a la cantidad de funciones que deben manejar y el gran número de factores a considerar. La complejidad creciente es una de las razones que apuntan al uso del conocimiento en esta tarea y por lo tanto de los sistemas expertos.

Cuadro 2.2.3. Clasificación de los SE de control.

Clasificación	Sub-clasificación
Según la intervención del experto	<i>Lazo abierto</i> : si la realimentación en el paso de un proceso a otro lo realiza el operador.
	<i>Lazo cerrado</i> : si la realimentación es el paso de un proceso a otro no tiene que intervenir el operador.
Según el tiempo relativo de respuesta	<i>Tiempo diferido</i> : se interpretan los datos provenientes de los sensores, y son corregidos después de cierto tiempo. Puede recibir varios datos antes de ejecutar una acción.
	<i>Tiempo real</i> : se realiza un proceso de monitoreo y corrección de forma permanente, realiza una acción correctiva antes de recibir el dato siguiente.

## **Reparación, corrección o terapia**

La tarea consiste en proponer acciones correctivas para la resolución de un problema. Para realizar una reparación es necesario realizar previamente un diagnóstico, que puede hacerlo el experto, un SE independiente o una parte del SE de reparación.

En algunos campos de aplicación, la reparación consiste únicamente en la corrección de los datos. Un ejemplo en Medicina es “En caso de fiebre tratar con un antipirético”, para concluir esto no se ha realizado un diagnóstico, sino una interpretación de los datos. Este tipo de reparación a partir de una interpretación no es tolerable en todos los campos.

Este tipo de sistemas tienen que cumplir otros objetivos:

- Reparación lo más rápida y económica posible.
- Determinar un orden en que se deben realizar las reparaciones, en caso que se realizan varias.
- Evitar los efectos secundarios de la reparación.

## **Simulación, pronóstico o predicción**

El objetivo de los SE de simulación es modelar el conocimiento de un experto humano; lo cual es un proceso complejo.

Las técnicas tradicionales de simulación requieren modelos matemáticos y lógicos que describen el comportamiento del sistema bajo estudio.

Estos SE son eficaces donde los métodos numéricos tienen problemas, debido a la complejidad o a la naturaleza del proceso de simular. Sin embargo, existen procesos que podrían necesitar de ambos enfoques para lo que se utilizan estructuras intermedias en las que el conocimiento se expresa en la base de conocimiento y un conjunto de algoritmos o procedimientos. Estos sistemas se denominan “sistemas híbridos”.

Existen cinco configuraciones de las aplicaciones en el campo de la simulación:

- a) Un SE puede utilizar un simulador para comprobar soluciones, y de acuerdo a los resultados rectificar el proceso que desarrolla.

- b) Un sistema de simulación puede contener un SE (sin necesidad de que este sea de simulación).
- c) Un sistema experto puede controlar un proceso de simulación, cuyo modelo se encuentre representado en la base de conocimientos del SE y su evolución se realice con respecto a la base de hechos, la base de conocimiento y el motor de inferencia, en lugar de un conjunto de ecuaciones aritmético-lógicas.
- d) Un sistema experto puede utilizarse como consejero del usuario y del sistema simulador.
- e) Un sistema experto puede funcionar como interfaz de un simulador, con el objetivo de que el usuario reciba explicación y justificación del proceso.

Los problemas de predicción o pronóstico son aplicaciones de la simulación.

### **Otras tareas**

Existen también otras tareas importantes que pueden realizar los sistemas expertos, las cuales se derivan de las expuestas anteriormente:

- *Monitoreo*: considerado un caso particular de la interpretación. Consiste en la interpretación continua de valores o señales de entrada, y el uso de otros valores que actúan como criterio de normalidad o estándares.
- *Planificación*: realiza planes y secuencias de acción, siendo un caso particular de la simulación. Esta compuesto por un simulador y un sistema de control. El objetivo final es la ordenación de un conjunto de acciones persiguiendo un objetivo global.
- *Diseño*: proponen soluciones utilizando la base de conocimientos, con lo cual es capaz de explicarlas, proponer alternativas detallando ventajas y desventajas de cada solución. Este proceso de diseño utiliza la simulación, por lo que se puede considerar estos sistemas dentro de esta clasificación.
- *Educación*: La enseñanza desde el punto de vista informático, no es más que un sistema de control.
- *Prototipaje*: los sistemas expertos pueden utilizarse para la realización de prototipos, gracias a que ofrecen facilidades de manejo (entornos gráficos), flexibilidad y potencia.

### 3. CAMPOS DE APLICACION DE SE

Las áreas de aplicación de los sistemas expertos son diversas, a continuación se presentarán áreas específicas donde el desarrollo de dichos sistemas es aplicable.

#### 1. AGRICULTURA<sup>43</sup>

Los SE en agricultura ayudan a las personas a tomar decisiones complejas más eficiente y efectivamente. Se asiste a las personas para que consideren toda la información relevante y presentarla en un formato comprensible y tomar decisiones estratégicas ambiental y económicamente viables. Ofrecen el potencial de proveer un vínculo necesario entre información obtenida a través de investigación y la pericia humana y la implementación práctica de este conocimiento.

La codificación de conocimientos permite la implementación de la “Agricultura orientada a la gestión” que incentiva el uso de los sistemas de soporte a las decisiones dirigidos a los sistemas de producción agrícola.

Existen muchos tipos de aplicaciones de SE en agricultura y generalmente se clasifican en las siguientes categorías:

- Administración de cultivos
- Manejo de ganado
- Planeación de cultivos
- Manejo de plagas
- Diagnóstico, conservación, ingeniería agrícola
- Control de procesos agrícolas

---

<sup>43</sup> Robinson, B. 1996. EXPERT SYSTEMS IN AGRICULTURE AND LONG-TERM RESEARCH. Can. J. Plant Sci. 76: 611–617.

## **2. EDUCACION**

Los SE son herramientas utilizables para la enseñanza, gracias a su componente explicativo que justifica sus conclusiones.

Uno de los objetivos de los sistemas educativos para computadora, es la construcción de sistemas inteligentes para la enseñanza, enfocándose en la forma de enseñanza más que en los contenidos.

Los SE desarrollados en esta área, pueden:

- Diagnosticar las causas de los problemas de aprendizaje de los alumnos.
- Recomendar un tratamiento que podría llevar a cabo el maestro, o hacer dicha recomendación el propio sistema experto.

## **3. ELECTRONICA, INFORMATICA Y TELECOMUNICACIONES**

En el área de la electrónica, los sistemas expertos más utilizados son los de diseño, diagnóstico y reparación.

Entre las aplicaciones principales de los SE son:

- Diseño de circuitos de alto grado de integración.
- Sistemas inteligentes de autodiagnóstico contenidos.
- Configuración de equipos y sistemas.
- Control de redes de comunicación.
- Programación automática.
- Ajuste de equipos y sistemas.
- Optimización de programas de computadoras.

## **4. FINANZAS Y GESTION**

Las inversiones hechas por entidades financieras, bancarias y aseguradoras, han permitido el crecimiento de SE en este dominio.

La Gestión Financiera implica un gran número de especialidades: análisis de inversiones, presupuesto de capital, análisis financiero, entre otros; incluyendo la planificación financiera.

Los SE enfocados a la planificación financiera tienen sus principales aplicaciones en:

- Análisis de mercados.
- Análisis de riesgos y tasación de seguros.
- Aplicaciones de impuestos y tasas.
- Asesoría jurídica y fiscal.
- Ayuda a la correcta realización de operaciones bancarias.
- Concesión de créditos y préstamos.
- Evaluación de riesgos de gestión de cartera.
- Gestión del personal.
- Planes de inversión de capitales.
- Planes de pensiones.
- Previsión de los tipos de interés.
- Previsión en las fluctuaciones en el mercado de divisas.
- Supervisión de los estados financieros.
- Valoración de la situación financiera de una empresa o cliente.
- Verificación de firmas.

## 5. INDUSTRIA

En este dominio, es necesario que los SE tengan comunicación con dispositivos externos en tiempo real, como sensores, bases de datos, dispositivos de mando y accionamiento, entre otros.

En la industria, las aplicaciones de SE están orientados principalmente al diagnóstico y reparación de averías tanto de productos como de maquinaria, debido a las razones siguientes:

- Los equipos y productos tienen una complejidad creciente.
- En su mayoría, los sistemas industriales están diseñados a prueba de fallos, lo que impide que aparezcan dos veces el mismo fallo.
- Las reparaciones del equipo deben realizarse sin interrumpir el servicio o en el menor tiempo posible, debido a las pérdidas que puede generar la inactividad.
- La presencia cada vez mayor de equipos específicos, creados bajo demanda, lo que dificulta su mantenimiento y reparación.



Algunos dominios de aplicación de SE en el área industrial son:

- Diagnóstico de control de calidad.
- Detección y actuación en caso de alarmas y emergencias.
- Configuración de equipos y sistemas bajo demanda.
- Generación de especificaciones y manuales de utilización, mantenimiento y reparación de sistemas fabricados bajo demanda.
- Control de procesos industriales.
- Gestión óptima de los recursos.

## 6. MEDICINA

La medicina es uno de los primeros campos en donde se desarrollan los SE, impulsado por la inquietud que surgió en los años sesenta, sobre lo que denominaban “diagnóstico médico automático”. A partir del éxito del sistema experto MYCIN, éste ha sido uno de los campos donde han surgido mayor número de SE.

Algunas razones que promueven el desarrollo en este campo:

- Es una de las ciencias en donde la experiencia es fundamental, debido a la complejidad del comportamiento del cuerpo humano.
- El conocimiento en medicina es extenso y tiende hacia mayores niveles de especialización.
- Existe un gran número de bases de datos médicas.
- Uso frecuente de información de tipo simbólico.
- El conocimiento es incremental, la investigación médica esta en constante desarrollo.
- Resulta conveniente que el programa explique los pasos seguidos y justifique los resultados, pues las decisiones que se tomen a partir de estos pueden repercutir en la salud del paciente.

En general, pueden construirse SE para casi cualquier especialización de medicina.

## 7. MILITAR

La informática desde sus orígenes, se encuentra presente en el campo militar, el cual ha sido uno de los factores más importantes en su desarrollo actual. Uno de los proyectos que impulsaron dicho desarrollo fue DARPA (“Defence Advanced Research Projects Agency”), un organismo creado en 1983 para financiar lo proyectos con aplicaciones militares.

Algunas de las aplicaciones en este campo son:

- Elección inteligente de contramedidas electrónicas con el fin de obtener la máxima efectividad con unos recursos limitados.
- Guiado de vehículos y proyectiles de forma semiautomática.
- Planificación estratégica.
- Reconocimiento automático de blancos y valoración de los mismos.
- Reconocimiento de planes del enemigo.
- Interpretación de señales provenientes de sensores.
- Encaminamiento de los mensajes e informaciones en caso de conflicto, tiempos mínimos de comunicación.
- Optimización de carga.

## 8. OTROS CAMPOS DE APLICACION

Existen otros dominios de aplicación donde se han desarrollado sistemas expertos, algunos de ellos son:

- Aeronáutica.
- Arqueología.
- Derecho.
- Geología.
- Meteorología.
- Química.
- Transportes.

## 4. INGENIERIA DEL CONOCIMIENTO

### 4.1 DEFINICION

La ingeniería del conocimiento (IC) se ha constituido como una de las disciplinas más importantes para la creación de SBC. Su objetivo principal es diseñar la base de conocimientos. Para ello es necesario recolectar conocimientos (generalmente de un experto humano) y representarlos haciendo uso de las técnicas y herramientas existentes.

La ingeniería del conocimiento surgió con la necesidad de herramientas para planificar y ejecutar proyectos de SBC. En los años sesenta y setenta se propusieron metodologías de ciclos de vida para el desarrollo de estos sistemas, y se basaron en las propuestas de ciclos de vida para sistemas informáticos tradicionales.

Hay autores que consideran a la IC como: “la disciplina tecnológica que se centra en la aplicación de una aproximación sistemática, disciplinada y cuantificable al desarrollo, funcionamiento y mantenimiento de Sistemas Basados en Conocimiento. En otras palabras, el objetivo último de la IC es el establecimiento de metodologías que permitan abordar el desarrollo de SBC de una forma más sistemática”<sup>44</sup>. En esta definición, la IC comprende todo el proceso de desarrollo de SBC desde su planificación hasta su implementación. Inicia con la selección o construcción de una metodología de ciclo de vida para SBC.

Por otro lado hay autores que consideran que la IC se centra en la etapa de creación de bases de conocimientos (BC) y aseguran que: “Como disciplina, dirige la tarea de construir sistemas inteligentes proporcionando las herramientas y los métodos que soportan el desarrollo de ellos. En esta tarea se involucra la obtención de conocimiento, la familiarización con el dominio, el análisis y el diseño de la solución, y la validación del conocimiento hasta que el conocimiento acumulado de un dominio sea traducido en un código probado y refinado”<sup>45</sup>.

A partir de los conceptos anteriores se define la IC como:

---

<sup>44</sup> MARIN, R.; J. T. Palma; E. Paniagua; F. Martín, 2000, INGENIERIA DEL CONOCIMIENTO. DE LA EXTRACCION AL MODELADO DE CONOCIMIENTO, pág. 2.

<sup>45</sup> HENAO Cálad, Mónica, 1998 LA ADQUISICION DEL CONOCIMIENTO DENTRO DE LA INGENIERIA DEL CONOCIMIENTO., pág. 2

**La disciplina de la IA encargada de crear o seleccionar una metodología de desarrollo para dirigir y verificar sistemáticamente el proceso de adquisición, representación y validación del conocimiento.**

Aunque en la selección de la metodología el ingeniero del conocimiento juega un papel muy importante, todos los miembros del equipo del proyecto serán los responsables de decidir la metodología de ciclo de vida que se ajusta mejor a las condiciones de desarrollo.

El Ingeniero del conocimiento es la persona a cargo de la construcción y puesta en marcha de un SBC. Este debe tener conocimientos profundos sobre cómo desarrollar el sistema, conocer las herramientas para el desarrollo de este tipo de sistemas, estrategias efectivas de comunicación, y saber un poco sobre psicología. Estos últimos dos aspectos son importantes establecer una relación adecuada con el experto y poder interpretar mejor su proceso de inferencia.

## **4.2 ADQUISICION DEL CONOCIMIENTO**

La adquisición del conocimiento en el desarrollo de un SBC depende del tipo de sistema que se desarrollará. El caso más complejo es el del desarrollo de un SE, ya que el conocimiento se encuentra en un experto humano.

En los otros dos tipos de SBC (sistemas de inteligencia general y sistemas de razonamiento basado en modelos), la adquisición se ve reducida a la obtención de un modelo teórico o a la formulación de reglas muy simples. Este apartado se enfocará en la adquisición de conocimiento para el desarrollo de SE.

## **FUENTES DE CONOCIMIENTO**

Para hablar de este proceso de adquisición, primero es fundamental especificar que el conocimiento se encuentra almacenado en diversas fuentes para un dominio específico. A esto se le conoce con el nombre de **fuentes de conocimiento**.

Se considerarán dos tipos principales de fuentes de conocimiento:<sup>46</sup>

---

<sup>46</sup> SELL, Peter S., 1992. SISTEMAS EXPERTOS PARA PRINCIPIANTES.

## 1. Fuente de conocimiento estática (fuente secundaria)

Es rígida en cuanto a que su contenido, no puede variar. Por ejemplo, un libro, una revista, un artículo, una película, etc. El propósito de obtener este conocimiento es que el ingeniero del conocimiento y el experto puedan tener un vocabulario común para que logren una comunicación efectiva y eficiente. Al mismo tiempo, el experto debe obtener conocimiento de los fundamentos de los SE de forma que pueda entender completamente el objetivo del proyecto. Así, ambos podrán realizar una labor apropiada en el proceso de adquisición del conocimiento.

Para realizar esta actividad se puede hacer uso de la *técnica documental*, o siguiendo esta serie de pasos:

- Seleccionar las fuentes más apropiadas.
- Identificar los recursos que se tengan disponibles.
- Hacer un estudio minucioso de dichas fuentes.
- Hacer una validación del conocimiento para saber la integridad de lo que se extrajo.

## 2. Fuente de conocimiento dinámica (fuente primaria)

Refleja las características del conocimiento tales como: la variabilidad, ser cambiante e inexacto, entre otras. Si solo se toma en cuenta la parte del conocimiento específico sin considerar la forma en que el experto lo aplica, podemos tener inconsistencias dentro de la BC.

Otro objetivo del proceso de adquisición del conocimiento es precisar las actividades o procesos mentales que el experto realiza con su conocimiento con el fin de llegar a una conclusión. A continuación se proponen una serie de pasos para obtener el conocimiento dinámico:

- Aplicar la herramienta de adquisición (entrevista o cuestionario).
- Buscar asociar un conocimiento explicativo para cada una de las acciones que el experto tome.
- Determinar la línea de razonamiento del experto, por ejemplo deducción e inducción.
- Identificar los subsistemas que formarían el sistema final.
- Elaborar el modelo de las tareas genéricas, el cual define los aspectos globales del sistema y el modelo de tareas específicas que plantea los aspectos particulares del dominio.

- Definir un modelo del conocimiento experto y de pericias en donde se modela todo lo relacionado con el conocimiento del dominio.

### ***Herramientas para la adquisición***

Debido a que este conocimiento se encuentra en expertos humanos, se relaciona esta labor con herramientas o técnicas estructuradas de adquisición de conocimiento: *entrevistas formales e informales, cuestionarios y observaciones del trabajo real del experto.*

#### ***a. Entrevistas formales***

Es realizar conversaciones personales entre el ingeniero del conocimiento y la fuente del conocimiento bien sea el experto o un usuario. El ingeniero de conocimiento establece un plan de la reunión en el que se determina el objetivo principal de la reunión, el tema a tratar, los recursos que se necesitan para registrar la entrevista y la fecha, hora y lugar donde se llevará a cabo. Este plan debe ser luego enviado a la persona que se va a entrevistar para que lo revise, lo corrija y lo apruebe; así tiene la oportunidad para prepararse con anterioridad.

Este tipo de recurso es muy importante aunque debe ser manejado con mucha seriedad y precaución teniendo en cuenta lo valioso del tiempo que se va a invertir. Por lo tanto el ingeniero de conocimiento debe determinar los medios que requiere para poder conservar y revisar el conocimiento adquirido.

#### ***b. Entrevistas informales.***

Se realiza en forma personal pero no planeada. Es aprovechar la oportunidad del encuentro entre el ingeniero de conocimiento y la persona que tiene el conocimiento en donde el primero le hace una pequeña entrevista al segundo. Por ser una entrevista casual, no se tienen disponibles los medios que permiten registrar el conocimiento, por lo tanto se debe tener mucho cuidado para evitar su manejo inadecuado.

#### ***c. Observaciones del trabajo real del experto.***

Se denomina método de la observación. Es examinar la labor del experto en su ambiente de trabajo solucionando un problema como el que se está tratando de simular. La ventaja del conocimiento que se adquiere en esta forma es que es muy espontáneo ya que el experto está tomando las decisiones sin tener mucho tiempo para analizar el porqué de ellas. Además no se

le permite cuestionar si está o no haciendo lo correcto. Él solamente hace lo que cree que es mejor en esa situación.

*d. Cuestionarios.*

Son encuestas muy bien diseñadas que se utilizan especialmente para cuando se requiere obtener las ideas que tienen varias personas sobre el tema. Puede llegar a ser muy difícil de diseñar e inclusive de manejar.

***Errores de la adquisición***

A continuación se presentan errores comunes que se cometen en la adquisición del conocimiento de fuentes dinámicas:

- El conocimiento no se obtiene desde diferentes perspectivas.
- Se captura conocimiento irrelevante.
- No se explora suficientemente el rango y la flexibilidad del conocimiento experto.
- No se reconoce el clásico "demo effect" (los expertos se comportan diferente cuando se les está observando).

***El problema de cuello de botella de adquisición***

Este inconveniente fue identificado por Buchanan, al proponer la tarea de adquisición del conocimiento en su metodología de desarrollo, y lo agrupó en tres grandes problemas:

1. **El problema del conocimiento tácito.** Se aplica repetidamente el conocimiento declarativo a determinadas tareas perdiendo conciencia de lo que realmente se sabe.
2. **El problema de la comunicación.** Para poder representar el conocimiento relevante en un determinado tema, el ingeniero del conocimiento debe familiarizarse con el dominio de la aplicación, aprender el vocabulario utilizado en dicha área y quizá, una nueva forma de ver los problemas.
3. **El problema de utilizar representaciones del conocimiento.** Hay experimentos que muestran que la forma en la que es modelado el conocimiento del experto depende fuertemente del lenguaje de representación utilizado.

### 4.3 REPRESENTACION DEL CONOCIMIENTO

Este proceso fue explicado en el apartado “*Técnicas de representación de conocimiento*”. A lo ya dicho, se agregará que la representación del conocimiento es la tarea más compleja de la IC. La complejidad radica en la elección de la forma más apropiada de representar el conocimiento, de acuerdo al problema que se desea resolver y al tipo de conocimiento.

En general, el conocimiento debe ser estructurado de manera que permita al sistema actuar de acuerdo al **principio de racionalidad**: *Si un sistema tiene conocimiento de que una acción puede llevarle a la consecución de uno de sus objetivos, entonces seleccionará esa acción.*<sup>47</sup>

### 4.4 VALIDACION DEL CONOCIMIENTO

Después de representar el conocimiento, éste debe ser validado tanto por el ingeniero del conocimiento como por el experto del dominio. Siempre se debe asegurar que el conocimiento que se adquiere y que se represente es igual al proporcionado por el experto.

En este proceso se deben hacer todas los ensayos posibles para evitar mal manejo del conocimiento, ya sea por problemas de interpretación (de los hechos, las heurísticas o las relaciones) o por problemas de obtención de malas conclusiones y explicaciones. Básicamente, lo que se hace es evaluar el conocimiento del sistema por medio de pruebas de casos reales, con el fin de confrontarlos entre sí. Este proceso repite a lo largo la vida útil del SE.

A continuación se definen una serie de pasos para la validación del conocimiento:

1. El ingeniero de conocimiento busca errores sintácticos y semánticos en la base de conocimiento.
2. Realiza pruebas al sistema para encontrar discrepancias.
3. El experto realiza pruebas al sistema para confrontar conocimientos.

---

<sup>47</sup> MARIN, R.; J. T. Palma; E. Paniagua; F. Martín, 2000, INGENIERIA DEL CONOCIMIENTO. DE LA EXTRACCION AL MODELADO DE CONOCIMIENTO.



Los problemas más usuales en el manejo de reglas son:

- Conflictivas
- Redundantes
- Especializaciones
- Condiciones innecesarias
- Incompletas
- Circularidades
- Valores de atributos no mencionados
- Valores de atributos ilegales
- Condiciones/acciones inalcanzables

Las pruebas que se realizan, se orientan a verificar los requisitos que se presentan en el cuadro 2.4.1.

Cuadro 2.4.1. Requisitos que se deben verificar en un SE.

REQUISITOS	DESCRIPCION
<i>Consistencia</i>	Si se hacen dos preguntas sobre el mismo tema o sección del dominio, las respuestas del sistema deben aproximarse, o ser las mismas.
<i>Completez</i>	Demanda que la base de conocimiento sea lo suficientemente amplia en cuanto a su cobertura para permitir que el sistema aborde con éxito cualquier problema dentro de su dominio. Si se esta considerando un espacio problema que puede dividirse en un conjunto prácticamente numerable de clases de equivalencia, entonces el requisito es muy razonable.
<i>Profundidad</i>	Significa que el sistema llegue a las conclusiones adecuadas, donde “adecuadas” quiere decir “de acuerdo al juicio del experto”.
<i>Precisión</i>	El requisito de la precisión es específico para los sistemas que proporcionan juicios calificados o probabilísticos. La profundidad demanda que el sistema llegue a la conclusión adecuada; la precisión, que presente dicha conclusión con una certidumbre apropiada al caso. Es una extensión del requisito de profundidad.

A continuación se presenta un enfoque de sistemas de la IC para comprender la interacción de los compones (medioambiente, entradas y salidas) y las actividades de adquisición, representación y validación del conocimiento.

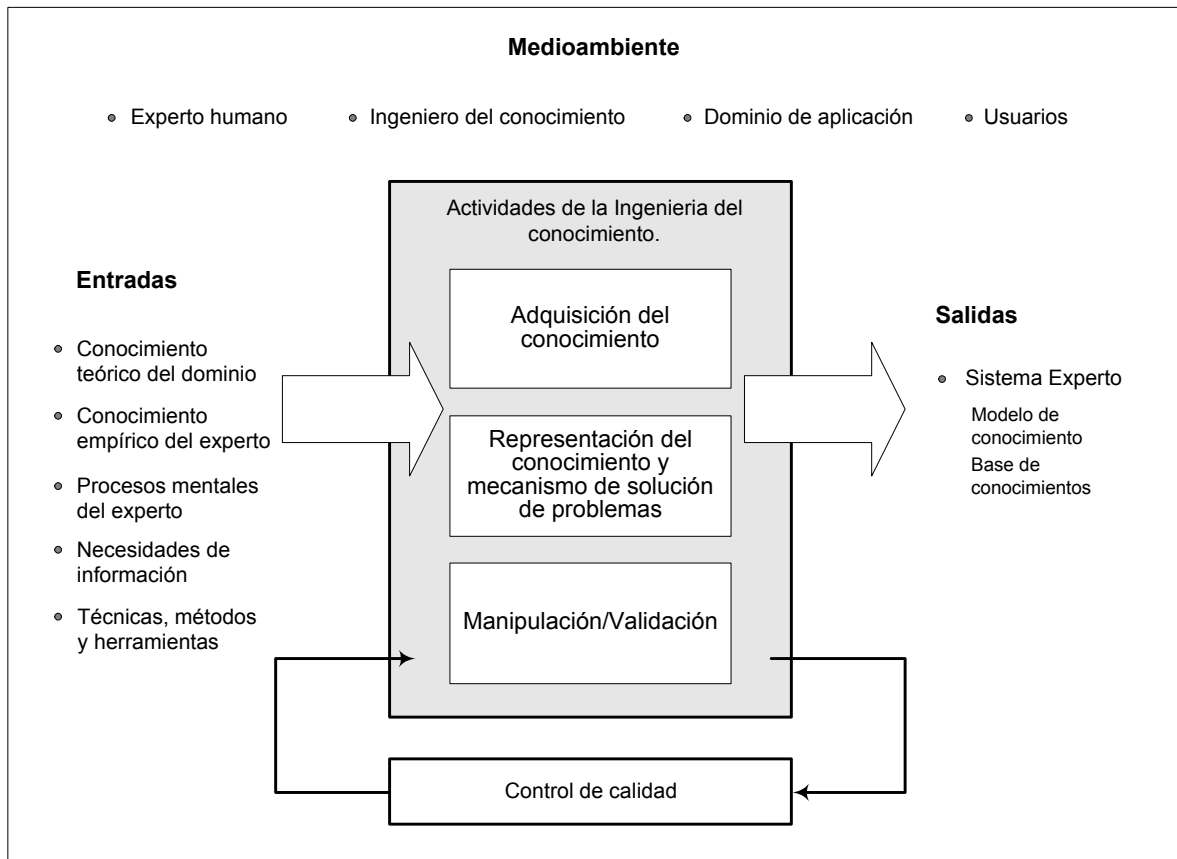


Figura 2.4.1. Enfoque de sistemas de la IC.

En este enfoque (ver figura 2.4.1) se destaca el control de calidad que se debe de ejercer sobre las actividades de la IC. En donde el proceso de validación permite verificar si se ha estado realizando un control adecuado.

## 5. METODOLOGIAS DE DESARROLLO

En general, las metodologías de desarrollo son herramientas utilizadas por el equipo del proyecto, que dan pautas para desarrollar SE, permitiendo:

- Guiar la construcción.
- Una correcta documentación.
- Detectar problemas durante el desarrollo y corregirlos a tiempo.
- Evitar errores.

La diversidad de metodologías de desarrollo de sistemas expertos utilizadas actualmente, representan en su mayoría las necesidades específicas del dominio de aplicación del sistema experto y dependen del investigador / desarrollador que haga la propuesta.

La ingeniería del conocimiento tiene sus orígenes en la ingeniería del software, por lo tanto las primeras metodologías propuestas tenían su base en modelos tradicionales de ciclos de vida de software. De ahí se identificó la necesidad de crear metodologías para resolver el problema específico del conocimiento.

Las metodologías de desarrollo de SE que son más conocidas y utilizadas por ingenieros del conocimiento de todo el mundo son las siguientes:

1. Modelo de ciclo de vida de Buchanan
2. Metodología IDEAL
3. Metodología de manipulación de conocimiento
  - Método BGM
4. Metodologías basadas en el modelado de conocimientos
  - COMMONKADS
  - MIKE
5. Metodología KLIC

A continuación se detallan las metodologías de *ciclo de vida de Buchanan*, *IDEAL* y *el método BGM*. Las metodologías basadas en el *modelado de conocimientos* y *KLIC*, pueden ser consultadas en el documento *ETAPA I, CAPITULO II, Metodologías de desarrollo*, que se encuentra en el CD-ROM.

## 5.1 MODELO DE CICLO DE VIDA DE BUCHANAN

Este modelo es uno de los más utilizados como ciclo de vida para sistemas expertos, y de él se han derivado muchas versiones que modifican alguna etapa o profundizan en ellas. Aunque fue creado hace muchos años aún tiene vigencia por su flexibilidad de modificación.

La característica más importante de esta metodología es la constante relación entre el ingeniero de conocimiento y el experto.

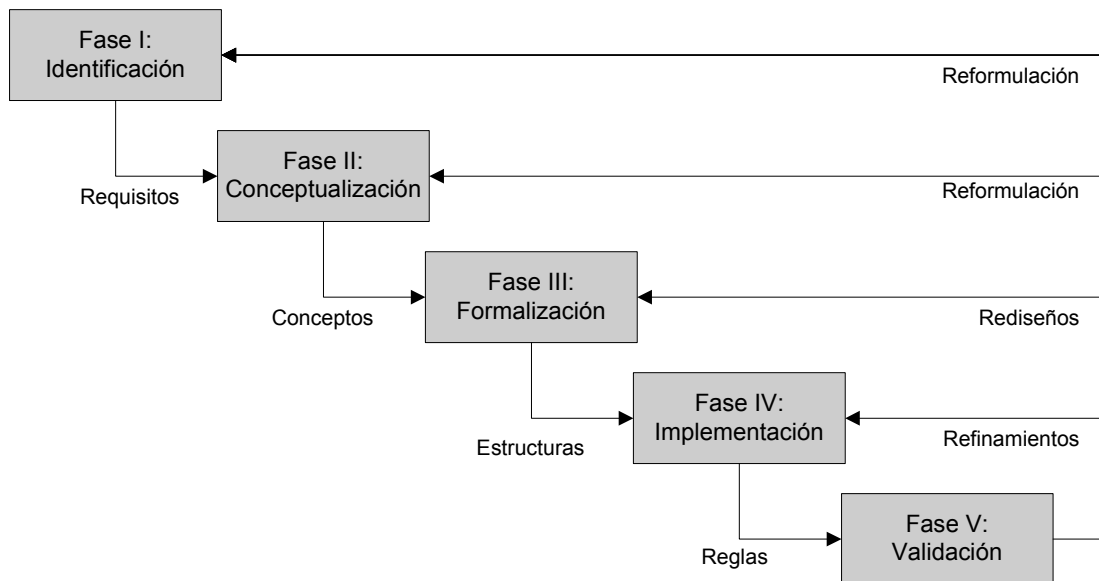


Figura 2.5.1. Modelo de ciclo de vida de Buchanan<sup>48</sup>

### FASE 1: IDENTIFICACION

Comprende la lectura de libros o artículos, entrevistas con personas familiarizadas con el tema y la selección y búsqueda de un experto que esté dispuesto a colaborar en la construcción del sistema. También definen las funciones idóneas que debe realizar el sistema.

<sup>48</sup> MARIN, R.; J. T. Palma; E. Paniagua; F. Martín, 2000, INGENIERIA DEL CONOCIMIENTO. DE LA EXTRACCION AL MODELADO DE CONOCIMIENTO.

Estas funciones son necesarias para determinar que lenguaje o herramienta se utilizará. El ingeniero de conocimiento debe ser capaz de comprender el dominio del problema para conversar adecuadamente con el experto.

## **FASE 2: CONCEPTUALIZACION**

Se refiere a la etapa de adquisición del conocimiento, a través de entrevistas o cuestionarios. Se persigue identificar y caracterizar el problema informalmente. El experto y el ingeniero de conocimiento (IC) definen el alcance del sistema, que problemas concretos hay que resolver.

Con el problema adecuadamente definido el IC empieza a determinar los principales conceptos del dominio que se requieren para realizar cada una de las tareas que va a resolver el sistema. Identificando conceptos relevantes, solicitando al experto que explique y justifique el razonamiento que utiliza para resolver los problemas. Esto es importante para la tarea de definición del sistema, y para mantener una adecuada documentación del mismo, que es útil en la tarea de diseño, construcción y posteriores modificaciones.

El IC debe prestar atención al experto, para encontrar la estructura básica que utiliza para resolver el problema. La estructura básica está formada por una serie de mecanismos organizativos que el experto usa para conducirse en ese dominio. Esta estructura básica de organización del conocimiento le permite realizar cierto tipo de inferencias.

Además debe reconocer las estrategias básicas que usa el experto cuando desarrolla su tarea: que hechos establece primero, que tipos de preguntas realiza primero, si define supuestos iniciales con información tentativa, como determina el experto la información que necesita para refinar sus suposiciones, en que orden debe proseguir con cada subtarea y si el orden varía según el caso.

La *estructura del conocimiento* indica que tareas y términos está usando el experto, y la *estrategia* indica como y cuando el sistema experto debe establecerlas.

## **FASE 3: FORMALIZACION**

El IC debe formalizar el conocimiento obtenido del experto. Esta tarea implica definir que arquitectura permitirá una mejor organización del conocimiento, lenguaje y medio ambiente de programación adecuados para la aplicación particular.

Se definen los conceptos primitivos, de acuerdo a la forma de representación elegida. Este es el primer paso hacia la implementación del prototipo. En el desarrollo del prototipo, el ingeniero de conocimiento deberá procurar lo siguiente:

1. Que el formalismo usado en la representación del conocimiento, sea el apropiado para reflejar los conceptos y el proceso de inferencia del experto.
2. Que la sintáctica y semántica del lenguaje capturen exactamente los aspectos estructurales más importantes de los conceptos usados por el experto.
3. Que la estructura del control del lenguaje al activar las reglas, refleje la estrategia usada por el experto.
4. Que las reglas reflejen asociaciones y métodos que:
  - a. Son los usados por el experto.
  - b. Son modelos aceptables de dichos métodos.

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

#### ***FASE 4: IMPLEMENTACION***

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

#### ***FASE 5: VALIDACION***

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

## 5.2 METODOLOGIA Y CICLO DE VIDA IDEAL<sup>49</sup>

La metodología IDEAL fue desarrollada por Pazos en 1996 en la Facultad de Informática de la Universidad Politécnica de Madrid, y presenta un ciclo de vida troncocónico en tres dimensiones. Su base es un modelo en espiral y la tercera dimensión representa el mantenimiento perfectivo una vez implementado el SE.

El desarrollo del sistema se basa en la filosofía del modelo en espiral en donde cada fase finaliza con un prototipo que conduce a la fase siguiente del ciclo.

El mantenimiento perfectivo involucra la incorporación sistemática de nuevos conocimientos (adquiridos por el uso del sistema). Los ejes de la base del cono representan el costo y el tiempo

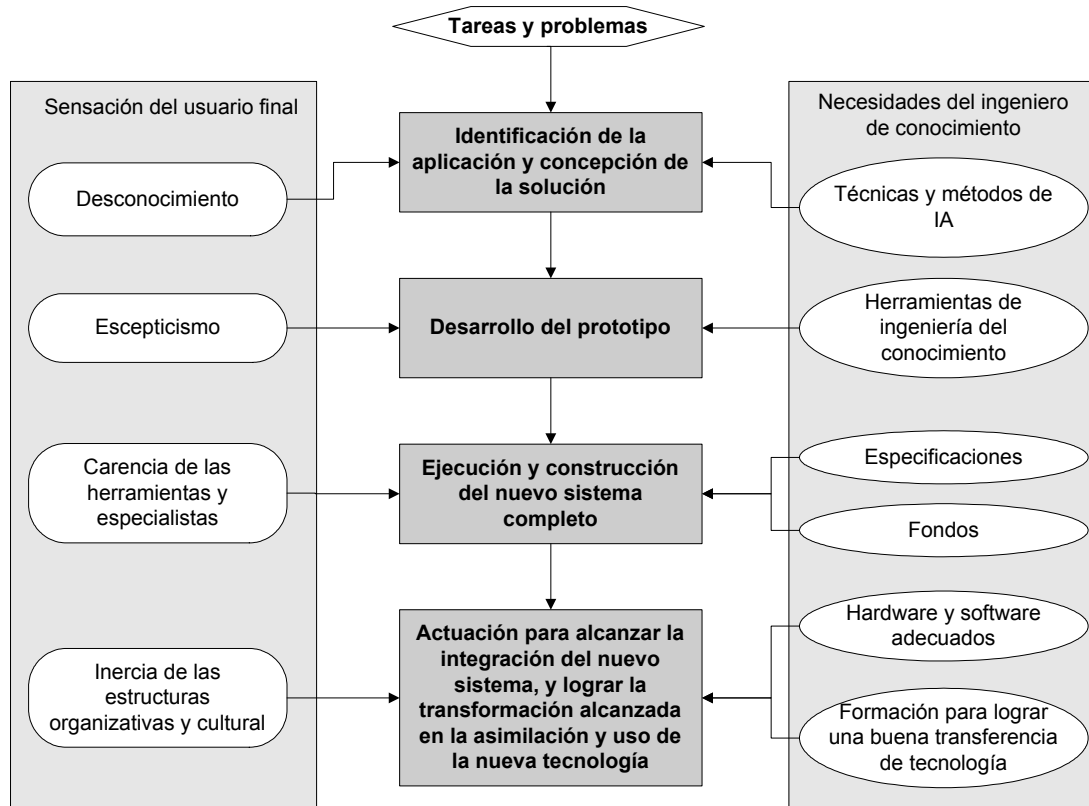


Figura 2.5.2. Metodología I.D.E.A.L.<sup>50</sup>

<sup>49</sup> Degl'Inocenti, TRABAJO FINAL: SISTEMA EXPERTO PARA DIAGNOSTICO DE FALLAS DE TRANSMISIÓN ELÉCTRICA

## **FASE 1: IDENTIFICACION DE LA TAREA**

### *1.1. Plan de requisitos y adquisición de conocimientos.*

Definir con los usuarios cuáles son los objetivos cuantitativos, cualitativos y filosóficos del sistema a desarrollar.

Definir las limitaciones de costo, tiempo, tecnología disponible, requisitos de fiabilidad y calidad.

Para confeccionar el Plan de Requisitos es necesario comenzar con la Adquisición de Conocimientos, entrevistando directivos, expertos y usuarios. La Adquisición de conocimientos más profunda corresponde a la Fase 2.

### *1.2. Evaluación y Selección de la Tarea*

Esta etapa, que conforma el estudio de viabilidad, se lleva a cabo realizando una evaluación de la tarea, desde la perspectiva de la Ingeniería del Conocimiento, que luego se cuantifica para ver el grado de dificultad que representa.

### *1.3 Definición de las Características de la Tarea.*

Definir las características más relevantes de la aplicación.

Definir formalmente los requisitos del usuario (se pasa de una descripción informal a una descripción técnica completa), se definen los requisitos funcionales, operativos, de interfaz y de soporte.

Definir criterios de éxito, casos de prueba, recursos para desarrollar el SE, análisis de costos/beneficios, hitos y calendario

## **FASE 2: DESARROLLO DE LOS PROTOTIPOS**

Conciene al desarrollo de prototipos que permiten ir definiendo y refinando, más rigurosamente, las especificaciones del sistema, de una forma gradual hasta conseguir las especificaciones exactas.

---

<sup>50</sup> [Plaza Gonzales, 2002]



Se desarrollan sucesivamente los prototipos de: demostración, investigación, campo y operación, siendo cada uno el resultado de refinar el anterior.

### *2.1 Concepción de la Solución*

Esta etapa tiene como objetivo producir un diseño general del prototipo. Engloba dos actividades principales, el desarrollo del diagrama de flujo de datos (DFD) y el diseño arquitectónico del sistema.

### *2.2 Adquisición de Conocimientos y Conceptualización de los Conocimientos.*

Se realiza la adquisición, en dos facetas de extracción de conocimientos: públicos, se obtienen de (libros, documentos, manuales de procedimientos, etc.) y la educación de los conocimientos privados de los expertos.

Se alterna esta etapa cíclicamente con la etapa de conceptualización para modelar el comportamiento del experto.

### *2.3 Formalización de los Conocimientos.*

Se realizan dos actividades fundamentales:

Seleccionar los formalismos para representar en la máquina los conocimientos que conforman la conceptualización obtenida en la etapa anterior.

Realizar un diseño detallado del SE. Hay que establecer los módulos que definen el motor de inferencias, la base de conocimientos y las interfaces con el usuario y con otros sistemas.

### *2.4 Implementación.*

Si se seleccionó una herramienta de desarrollo adecuada al problema, la implementación es inmediata y automática. En otro caso, es necesario programar, al menos parte del SBC con las dificultades y problemas que implican cualquier implementación.

### *2.5 Validación y Evaluación.*

La fiabilidad de los resultados es, tal vez el punto más sensible de todo SE. Es una tarea difícil dado que estos sistemas están construidos para contextos en los que las decisiones son discutibles.

Se definen casos de prueba, ensayo en paralelo y se examina detalladamente la interfaz de usuario.

### *2.6 Definición de nuevos requisitos, especificaciones y diseño.*

Debido a la construcción incremental del sistema, en esta etapa se definen los requisitos, especificaciones y diseño del siguiente prototipo. Posteriormente se repiten las etapas 2.1 a 2.6

## **FASE 3: EJECUCION DE LA CONSTRUCCION DEL SISTEMA INTEGRADO**

Debido a que la mayoría de los SE forman parte de sistemas computacionales más generales con los que interactúan, se requiere realizar una serie de tareas de integración resumidas en la Fase 3.

### *3.1 Requisitos y Diseño de la Integración con otros sistemas.*

Consiste en el estudio y diseño de interfaces y puentes con otros sistemas hardware y software.

### *3.2 Implementación y Evaluación de la Integración.*

Esta etapa integra el SE con los otros sistemas, hardware y software, para conseguir un sistema final.

### *3.3 Aceptación del sistema por el usuario.*

Es la prueba final de aceptación por los expertos y usuarios finales, que debe satisfacer todas sus expectativas y exigencias, tanto en lo concerniente a fiabilidad como a eficiencia.

## **FASE 4: ACTUACION PARA CONSEGUIR EL MANTENIMIENTO PERFECTIVO**

En los sistemas tradicionales de software, el mantenimiento que se establece es básicamente correctivo. Sin embargo, dadas las características específicas de los SBC, el mantenimiento perfectivo es esencial, puesto que, además del aumento de funcionalidades, efectúa la incorporación de nuevos conocimientos que, sin duda se van a generar por el uso del SBC. Este mantenimiento, viene reflejado en el ciclo de vida en la tercera dimensión de la espiral tronco-cónica.

#### *4.1 Definir el Mantenimiento del sistema global*

Se emplean las técnicas de ingeniería de software para establecer el mantenimiento correctivo y perfectivo que se llevará a cabo.

#### *4.2 Definir el Mantenimiento de las bases de conocimientos.*

Hay que dedicar una etapa especial al estudio del mantenimiento de la base de conocimientos del SE.

#### *4.3 Adquisición de nuevos conocimientos.*

Considera la incorporación de nuevos conocimientos, que se generan por el uso del sistema. El análisis de protocolos, como forma de adquisición de conocimientos es imprescindible.

Este mantenimiento se ve reflejado en la tercera dimensión de la espiral troncocónica.

### **FASE 5: LOGRAR UNA ADECUADA TRANSFERENCIA TECNOLOGICA**

En general cualquier sistema tecnológico, necesita para su correcta implantación y uso rutinario, una adecuada transferencia de manejo. Esto es especialmente crítico en los SBC en donde se han detectado diferencias considerables cuando los manejan sus diseñadores con respecto a la utilización por parte de los usuarios finales.

#### *5.1 Organizar la transferencia tecnológica.*

Definir sesiones de entrenamiento de los diseñadores con los usuarios, que sirvan para explicar el manejo del sistema y comprender la documentación.

#### *5.2 Completar la documentación del sistema.*

Desarrollo de un manual de usuario amigable.

## 5.3 METODOLOGIA DE MANIPULACION DE CONOCIMIENTO

### METODO BGM<sup>51</sup>

El método BGM desarrollado por Blanqué y García Martínez que se describe a continuación consta de 5 etapas:

#### ETAPA 1: ADQUISICION DE CONOCIMIENTO

Esta etapa consiste en solicitar al experto que hable sobre el conocimiento involucrado, recordándole que el ingeniero de conocimiento no posee mucho dominio del tema. El conocimiento asociado a un dominio que tiene un experto puede visualizarse mediante el esquema de la figura 2.5.3.

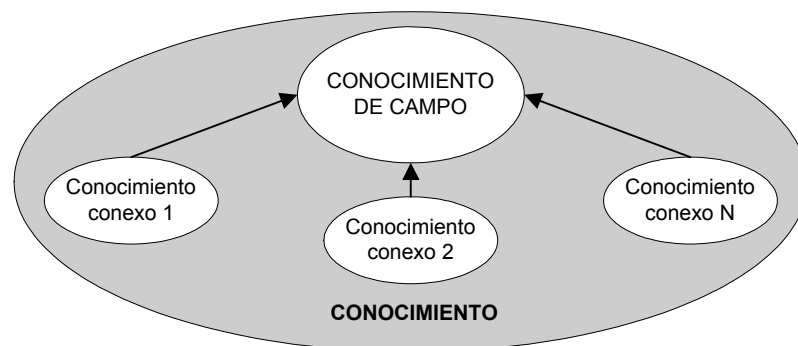


Figura 2.5.3. Conocimiento de un experto asociado a un dominio<sup>52</sup>

---

El conocimiento de campo ocupa una parte del conocimiento del experto, este conocimiento tiene conexos otros conocimientos que permiten que el experto lo articule, estos conocimientos conexos no son específicos del dominio de aplicación pero tienen que ver con él. Este conocimiento conexo también debe ser incluido en la BC.

---

<sup>51</sup> GARCIA Martínez, Rossi, y Britos, METODOLOGIAS DE EDUCACION DE CONOCIMIENTO PARA LA CONSTRUCCION DE SISTEMAS INFORMATICOS EXPERTOS.

<sup>52</sup> Idem

Este conocimiento es el que resulta de pedirle al experto de campo que piense su exposición para personas que desconocen el tema, así se fuerza inconscientemente al expositor a explorar en busca de conocimiento conexo, o sea, conocimiento digerible para personas sin especialidad en el área.

### ***ETAPA 2: ENUNCIACION DE CONCEPTOS***

En esta etapa se debe tomar nota de los conceptos más frecuentemente utilizados. Esto se logra observando la recurrencia del experto de campo sobre determinadas ideas, en esta etapa, la experiencia ha demostrado la conveniencia de mostrar una lista de tales conceptos al experto de campo y que él realice una clasificación del tipo:

- Conceptos primarios y secundarios
- Conceptos primarios, vinculantes y secundarios.

### ***ETAPA 3: PARAMETRIZACION DE CONCEPTOS***

Parametrizar los conceptos involucrados. Estos parámetros suelen estar asociados a valores tales como:

- Presencia / Ausencia
- Mucho / Poco / Nada
- Alto / Bajo / Medio
- Verdadero / Falso
- Valores de confianza
- Valores Estadísticos, Probabilísticos
- Resultados numéricos de expresiones aritméticas o lógicas

Estos parámetros “ad-hoc” suelen englobarse en formalismos de representación de conocimiento.

EL trabajo del ingeniero de conocimiento consistirá en descubrir tales valores en el discurso del experto de campo, y llegado el caso, plantearle si tales valores le parecen aceptables o si es necesario considerar modificaciones.

#### **ETAPA 4: PLANTEAMIENTO DE CAUSALIDADES**

Establecer relaciones de causalidad entre los conceptos mencionados y redactar las reglas asociadas.

La característica más importante es la etapa de planteamiento de causalidades, ya que los grafos de causalidades son una excelente herramienta para la representación del conocimiento previo a la formalización de reglas y la verificación, pues compara el procedimiento que realiza el experto con el que realizará el sistema; pudiendo establecer el desempeño del mismo

#### **ETAPA 5: VERIFICACION**

Consiste en verificar la aceptabilidad de las reglas con el experto. Esto se realizará usando casos de prueba que sean considerados típicos. Se compararán los resultados con las respuestas de los expertos humanos para los mismos casos, y sobre la base de esa misma comparación, se decidirá si modificar, eliminar, o aceptar las reglas involucradas.

Se usarán casos provenientes de la información recolectada en etapas anteriores para producir las pruebas iniciales, y casos extremos para verificar la consistencia y ampliar la base de conocimiento, si es posible.

Para generar grupos adicionales de casos, se utilizará casos de prueba típicos a los que se modificaran ciertos aspectos con respecto a los originales.

Se verificará la aplicabilidad del modelo, ejecutando el prototipo, o el SE en paralelo con expertos humanos (diferentes de aquellos que colaboraron en la realización del sistema) en situaciones reales, y llevando estadísticas acerca de su comportamiento, identificando posibles problemas conceptuales a partir del análisis de las respuestas.

## 6. HERRAMIENTAS DE DESARROLLO DE SE

Existen una gran variedad de herramientas de desarrollo para la construcción de un SE. Las herramientas tienen como propósito facilitar el desarrollo de sus principales componentes (motor de inferencia, base de conocimientos e interfaz de usuario).

Estas opciones se deben elegir a partir de la estrategia de desarrollo que se utilizará en el proyecto. Estas consisten:

- En determinar si se inicia el SE sin ningún elemento disponible. Entonces se debe establecer la guía para el desarrollo, cómo se implementará la base de conocimientos, el motor de inferencia, y elegir el **lenguaje de programación**.
- Si se comienza el desarrollo con algún elemento (por ejemplo el motor de inferencia), se podrán utilizar **Shells o herramientas de desarrollo**, que faciliten la construcción de sus componentes.

De acuerdo a lo anterior se dividen las herramientas de desarrollo para SE a partir de la orientación y utilidades que ofrecen en: lenguajes de programación y otras herramientas de desarrollo orientadas al desarrollo de SBC

*Cuadro 2.6.1. Clasificación las herramientas de desarrollo*

HERRAMIENTAS DE DESARROLLO	CLASIFICACION	EJEMPLOS
Lenguajes de programación	Lenguajes de alto nivel (HLL) de propósito general	C, C++, Fortran, Visual Basic, Pascal, etc.
	Lenguajes simbólicos (orientados a resolver)	LISP, PROLOG, OPS, etc.
Otras herramientas de desarrollo	SHELLS (sistemas expertos vacíos)	CLISP, JESS, EMYCIN, XIPlus, VP-Expert, etc.
	Entornos de desarrollo (Environments)	KEE, ART, EGERIA, Kappa, Nexpert Object, Goldworks, LOOPS, Flavors
	Herramientas CBR (Case Based Reasoninig)	Xpert Rule Knowledge Builder

## 6.1 LENGUAJES DE PROGRAMACION

### 6.1.1 LENGUAJES DE ALTO NIVEL (HLL)

Son lenguajes de propósito general, como: C, C++, Fortran, Basic, Visual Basic, etc. Tienen como ventajas la eficiencia y familiaridad. Pero tienen el inconveniente de no estar preparados para una programación basada en símbolos.

En la actualidad, es común la utilización de lenguajes de propósito general (especialmente los orientados a objetos, tales como C++), para el desarrollo de SE por su rendimiento en términos de tiempo de ejecución, superior al de las herramientas generales.

### 6.1.2 LENGUAJES SIMBOLICOS

Estos son lenguajes de alto nivel que ofrecen características especialmente diseñadas para manejar problemas generalmente encontrados en Inteligencia Artificial. Por esta razón se les puede nombrar como lenguajes de inteligencia artificial.

Estos lenguajes nos proporcionan mecanismos para la representación de la base de conocimientos y extracción de conclusiones, además su entorno de desarrollo provee utilidades como: editores, compiladores, depuradores, entre otros.

Los ejemplos por excelencia de este tipo de lenguajes de programación son LISP y PROLOG, empleados especialmente en la construcción de sistemas expertos.

A continuación se presenta una breve descripción de LISP y PROLOG, con el propósito de tener una idea de las utilidades y funciones que su entorno de desarrollo nos ofrece.

Si desea conocer más sobre estos dos lenguajes simbólicos, consulte el documento *ETAPA I, CAPITULO II, Herramientas de desarrollo, Lenguajes de programación*, que se encuentra en el CD-ROM.



## **LISP (List Processing)<sup>53</sup>**

El nombre LISP es la abreviatura de List Processing, ya que fue desarrollado para el procesamiento de listas. La lista es la estructura más importante en este lenguaje. LISP conceptualmente es un lenguaje funcional, ya que cada instrucción es una descripción de una función.

A lo largo de los últimos años se han desarrollado muchos dialectos, por ejemplo MACLISP, INTERLISP, ZETALISP, donde el COMMONLISP se está imponiendo cada vez más como estándar.

Un componente importante de un sistema LISP es la *gestión dinámica de la memoria*. El sistema posee un mecanismo de administración del espacio en la memoria para las listas en constante modificación, sin que sea solicitado por el usuario. Libera los espacios de memoria que ya no son utilizados y los pone a disposición de usos posteriores. La necesidad de este proceso se deriva de la estructura básica de LISP, las listas, que se modifican de forma dinámica e ilimitada.

Además un sistema LISP abarca bastante más que el solo intérprete del lenguaje LISP. Consta de algunos módulos que ofrecen ayuda en el desarrollo y control del progreso en programas, como son el Editor, el File-System y el Trace.

Estos módulos sólo están en versiones de LISP que contengan la conocida interfaz gráfica IDE (Entorno de Desarrollo Integrado), típica de los modernos lenguajes visuales.

## **CARACTERISTICAS**

A continuación se mencionan algunas características de LISP:

- Lenguaje interprete.
- El código y los datos tienen la misma forma.
- Es el pionero de la programación funcional.
- No necesita variables ni asignaciones.
- El control de flujo se hace con recursividad y expresiones condicionales.

---

<sup>53</sup> NEBENDAHL, Dieter. SISTEMAS EXPERTOS. INTRODUCCION A LA TECNICA Y APLICACION. págs. 99 - 107.

## **TERMINOLOGIA**

- **Atomo.** Los átomos son números, cadenas de caracteres o símbolos. Un símbolo puede tener varios valores, al igual que una variable en otros lenguajes de programación, como por ejemplo un número, o también puede ser el nombre de una función, o incluso ambos. Además a un símbolo pueden subordinarse cualidades, que además del valor del símbolo, contienen información adicional. Estas cualidades también reciben el nombre de atributos. Ejemplo: 'kitty.
- **Lista.** Es la estructura más importante en este lenguaje. Las lista deben tener los elementos separados por espacios. Ejemplo: '(1 2 3) .
- **Expresión (S):** puede ser un átomo, una lista o una combinación de ambos.
- Las **constantes** T y NIL indican verdadero y falso respectivamente.

## **INSTRUCCIONES BASICAS**

- **Inicio de CLISP.** Para ingresar se debe ejecutar la siguiente instrucción:  

```
\>list -M listinit.mem
```
- **Archivos.** Para abrir un archivo: (load "arch.ext"), por lo general, los archivos de código LISP se almacenan con la extensión ".lsp" o ".l". Los archivos utilizados en LISP, pueden ser editados en cualquier procesador de texto.
- **Compilar un programa.** Para compilar un programa se utiliza la siguiente instrucción: (compile-file "arch.ext"), el compilador crea dos archivos con extensión ".fas" y ".lib", que indica que es un archivo optimizado que se ejecutará más rápido.
- **Niveles de error.** Cuando se genera un error, LISP entra a un nivel *break* que indica el nivel de error en el que se encuentra. Para regresar al nivel de operación normal se utiliza la instrucción *unwind*.
- **Comentario.** Los comentarios se hacen con el símbolo ;; (doble punto y coma).

## **PREDICADOS**

### *Predicados de igualdad*

- **= (igual)**: Verifica la igualdad de los parámetros recibidos.

#### *Ejemplo 2.6.1.*

```
>(= 3 4)
NIL
>(= 3 4 3)
NIL
>(= 4 4 4)
T
```

- **equal**: Compara el contenido de las lista recibidas como parámetro.

#### *Ejemplo 2.6.2.*

```
>(equal '(1 2) '(1 2))
T
>(setf a '(1 2))
(1 2)
>(equal a a)
T
```

- **eq**: Compara si la dirección de las listas recibidas como parámetro son iguales.

#### *Ejemplo 2.6.3.*

```
>(eq '(1 2) '(1 2))
NIL
>(eq a a)
T
```

### *Predicados de membresía*

Verifica si el elemento recibido como primer parámetro está contenido en una lista. Si está regresa el resto de la lista recibida como parámetro adicional, a partir del elemento encontrado.

La instrucción member utiliza por defecto la función eq. Puede cambiarse la función de evaluación utilizando el modificador :test #'[predicado de igualdad].

#### *Ejemplo 2.6.4.*

```
>(member '(1 2) ((1 1) (1 2) (1 3)))
NIL
>(member '(1 2) '((1 1) (1 2) (1 3)) :test #'equal)
((1 2) (1 3))
>(setf a '((1 2) (2 3) (3 4)))
((1 2) (2 3) (3 4))
```

## **ESTRUCTURAS DE DATOS**

La declaración de estructuras se realiza a través de la instrucción `defstruct`.

*Ejemplo 2.6.5.*

```
(defstruct estudiante
  nombre
  carnet
  carrera
  (lugar-origen 'san-salvador)
)
```

Las estructuras se crean a través de la instrucción:

```
>(setf juan (make-estudiante))
#S(ESTUDIANTE :NOMBRE NIL :CARNET NIL :CARRERA NIL :LUGAR-ORIGEN SAN-
SALVADOR)

>(setf maria (make-estudiante :nombre 'maria :carnet 'ss03001 :carrera
'I10 515))
#S(ESTUDIANTE :NOMBRE MARIA :CARNET SS03001 :CARRERA I10515
:LUGAR-ORIGEN SAN-SALVADOR)
```

Una vez que se cuenta con la estructura definida, es necesario tener acceso a los campos que la componen. Los campos se llaman a través del nombre de la estructura unido a un guión y al nombre del campo, posteriormente acompañado por el nombre de la instancia creada. En el ejemplo se incluirá solo algunos datos que proporciona la instrucción *describe*.

*Ejemplo 2.6.6.*

```
>(setf estudiante-nombre juan 'juan)
JUAN
>(setf (estudiante-carrera maria) 'I10507)
I10507
```

Para tener información del contenido de una instancia se utiliza la instrucción *describe*.

## **RECURSIVIDAD**

Existen tres tipos de recursividad: de resto, de cola y combinatoria (cola y resto).

La recursividad tipo *de resto* es aquella en la que la respuesta se encuentra cuando la función sale de la primera llamada que se hizo.

La recursividad tipo *cola* es aquella en la que se encuentra la respuesta cuando el caso base es resuelto, posteriormente. Al compilar una función, LISP puede convertir una función recursiva de tipo cola a una función lineal.

### *Ejemplo 2.6.7.*

```
(defun mi-length ( alist )
  (if (null alist)
      0
      (+ 1 (mi-length (rest alist))))
  )
)
```

Se ha utilizado la instrucción **trace** para rastrear los valores que se van procesando a los largo de la ejecución de la función. La instrucción trace despliega los resultados de acuerdo a los niveles de recursividad. Se puede observar que la función anterior es de recursividad de tipo resto.

### *Ejemplo 2.6.8.*

```
(defun mi-length-2 ( alist &optional (result 0) )
  (if (null alist)
      result
      (mi-length-2 (rest alist) (+ 1 result)))
  )
)
```

Esta función es del tipo de recursividad de cola. Un ejemplo de recursividad de tipo combinatoria es el siguiente, en él se puede observar que la respuesta se construye cuando la función sale de la primera llamada que se hizo, no obstante las respuesta de los sub-niveles fueron encontradas con una recursividad de cola.

### *Ejemplo 2.6.9.*

```
(defun reverse-all (alist)
  (cond
    ((null alist) nil)
    ((atom alist) alist)
    (t (append (reverse-all (rest alist))
                (list (reverse-all (first alist))))))
  )
)
```

## **PROLOG (Programming in Logic)<sup>54</sup>**

PROLOG es la abreviatura de Programming in Logic (Programación Lógica). Como su nombre lo indica es un lenguaje basado en lógica, donde cada instrucción del lenguaje es una expresión de sintaxis de lógica formal.

La lógica se representa en forma de *predicados*. Estos predicados aparecen en tres formas distintas: como hechos, como reglas y como preguntas. La lógica formulada como hechos y reglas se define como base de conocimientos. A esta base de conocimientos se le pueden formular preguntas.

PROLOG es un lenguaje de programación que se centra alrededor de un conjunto pequeño de mecanismos, incluyendo reconocimiento de patrones, estructuras de datos basadas en árboles y backtracking (retroceso) automático.

Este conjunto pequeño constituye una estructura de programación sorprendentemente poderosa y flexible. Además es ideal para resolver problemas que involucren objetos – en particular objetos estructurados – y relaciones entre ellos.

Como una especie de semiestándar se han establecido el DEC System-10 PROLOG de Edinburgo y el PROLOG descrito en el libro "PROGRAMMING IN PROLOG" de W.F.Clocksinn y C.S.Melish. La mayoría de los dialectos PROLOG se basan en este y contienen el DEC System-10 PROLOG en su ámbito lingüístico.

## **CARACTERISTICAS**

Algunas características de PROLOG son las siguientes:

- Está basada en lógica y programación declarativa.
- Produce estilo de programación orientado a metas.
- No se especifica ¿Cómo debe hacerse?, sino ¿Qué debe lograrse? (alto nivel).
- El programador se concentra más en el conocimiento que en los algoritmos.

---

<sup>54</sup> NEBENDAHL, Dieter. SISTEMAS EXPERTOS. INTRODUCCIÓN A LA TÉCNICA Y APLICACIÓN. págs. 85 - 90.

## TERMINOLOGIA

- **Hechos.** Expresan objetos y las relaciones entre ellos. Por ejemplo, supóngase que se desea expresar el hecho que "un automóvil tiene ruedas". Este hecho, consta de dos objetos, "automóvil" y "ruedas", y de una relación llamada "tiene". La forma de representarlo en PROLOG es:

```
tiene(automovil,ruedas).
```

- **Variables.** Representan objetos que el mismo PROLOG determinará. Una variable puede ser instancia. Será una instancia cuando existe un objeto determinado representado por la variable. De este modo, cuando se pregunta "¿Un coche tiene X?", PROLOG busca en los hechos cosas que tiene un coche y responde, por ejemplo:  $x = \text{ruedas}$ . Asignará el objeto *ruedas* a la variable X.

Un caso particular es la variable anónima, representada por el carácter subrayado ("\_").

- **Reglas.** Las reglas se utilizan en PROLOG para especificar que un hecho depende de uno ó más hechos. Son la representación de las implicaciones lógicas del tipo  $p \rightarrow q$  (p implica q). Una regla consiste de un encabezado y un cuerpo, unidos por el signo ":-".

El encabezado está formado por un único hecho. El cuerpo puede ser uno ó más hechos (conjunción de hechos), separados por una coma (","), que actúa como el "y" lógico. Por ejemplo:

```
suelo(mojado) :- tiempo(lluvioso).  
suelo(mojado).
```

- **Metas.** Una llamada concreta a un predicado, con unos argumentos concretos, se denomina meta (en inglés: goal). Todas las metas tienen un resultado de éxito o fracaso tras su ejecución indicando si el predicado es cierto para los argumentos dados, o por el contrario, es falso.

## **INSTRUCCIONES BASICAS**

- **consult.** El predicado *consult* se utiliza para leer y compilar un programa PROLOG ó bien para las situaciones en las que se precise añadir las cláusulas existentes en un determinado archivo a las que ya están almacenadas y compiladas en la base de datos. Por ejemplo:

```
consult('c:\ia\prolog\archivo').
```

- **recon.** El predicado *recon* es muy parecido a *consult*, con la salvedad de que las cláusulas existentes en el archivo consultado, reemplazan a las existentes en la base de hechos. Puede ser útil para sustituir una única cláusula sin consultar todas las demás, situando esa cláusula en un archivo. Su sintaxis es la misma que la de *consult*.
- **forget.** Tiene como fin eliminar de la base de datos actual aquellos hechos consultados de un archivo determinado. Su sintaxis es:

```
forget(archivo).
```

- **exitsys.** Este predicado nos devuelve al sistema operativo.
- **write.** Se utiliza para imprimir salidas en pantalla. Las comillas simples encierran constantes, mientras que todo lo que se encuentra entre comillas dobles es tratado como una lista. También podemos mostrar el valor de una variable, siempre que esté instanciada:

```
write('Inteligencia Artificial')  
write(X).
```

- **nl.** El predicado *nl* fuerza un retorno de carro en la salida. Por ejemplo:

```
write('linea 1'), nl, write('linea 2').
```

- **read.** Lee un valor del teclado. La lectura del comando *read* no finaliza hasta que se introduce un punto ".". Su sintaxis es:

```
read(X).
```



## **PREDICADOS**

El nombre simbólico de una relación es *predicado*. Los objetos que se relacionan con los predicados son llamados *argumentos*. En el hecho gusta(ingeniero, informática), la relación “gusta” es el predicado y los objetos ingeniero e informática son los argumentos.

Un predicado puede no tener argumentos, pero el uso de un predicado es limitado. Se puede utilizar una consulta:

Carnet(Zapatero, Nombre, Número)

Para averiguar el nombre y número de carnet de la persona con apellido Zapatero.

Un predicado sin argumentos se utiliza para determinar si se encuentra la cláusula “run” en el programa. El predicado sin argumentos también sirve para evaluar una regla si la cláusula run se encuentra en el encabezado.

## **ESTRUCTURAS DE DATOS**

La lista es una secuencia ordenada de elementos que puede tener cualquier longitud. El orden de cada elemento es significativo. Un elemento puede ser cualquier término e incluso otra lista. Se representa como una serie de elementos separados por comas y encerrados entre corchetes.

Para procesar una lista, la dividimos en dos partes: la cabeza y la cola. Por ejemplo:

*Cuadro 2.6.2. Esquema de representación de listas en PROLOG*

<b>LISTA</b>	<b>CABEZA</b>	<b>COLA</b>
[a,b,c,d]	a	[b,c,d]
[a]	a	[] (lista vacía)
[]	no tiene	no tiene
[[a,b],c]	[a,b]	[c]
[a,[b,c]]	a	[b,c]
[a,b,[c,d]]	a	[b,[c,d]]

## **RECURSIVIDAD**

Un proceso recursivo es aquel que se llama a sí mismo. Los procesos recursivos no presentan problemas de mantener los registros de su progreso gracias a los contadores, totales, y resultados intermedios que pueden ser pasados como argumentos de una iteración a la siguiente.

La lógica de la recursividad es fácil de seguir (el lenguaje PROLOG es tan diferente del lenguaje de máquina que la poca familiaridad con las computadoras es una ventaja para los programadores). Es necesario olvidar por un momento que la computadora busca a través de cada una de las direcciones de memoria. Se debe suponer que la computadora puede seguir instrucciones como las siguientes:

Encontrar el factorial de un número N:

- Si N es 1 el factorial es 1.
- De cualquier otra forma, encontrar el factorial de N-1, entonces multiplicarlo por N.

Esta formula indica que: Para encontrar el factorial de 3, se debe encontrar el factorial de 2 y para encontrar el factorial de 2 se debe encontrar el factorial de 1. Afortunadamente se puede encontrar el factorial de 1 sin hacer referencia a cualquier otro factorial, de esa forma la repetición no es infinita. Cuando se tiene el factorial de 1 se multiplica por 2 para obtener el factorial de 2 y luego se multiplica por 3 para obtener el factorial de 3, y se obtiene el resultado deseado.

*Ejemplo 2.6.10:*

En instrucciones de PROLOG:

```
factorial(1, 1) :- !.  
factorial(X, FactX) :-  
    Y = X-1,  
    factorial(Y, FactY),  
    FactX = X*FactY.
```

## 6.2 OTRAS HERRAMIENTAS DE DESARROLLO

### 6.2.1 ENTORNOS DE DESARROLLO (Environments)

Son herramientas que permiten agregar a un sistema experto (construido por medio lenguaje o *shells*) el entorno gráfico (ventanas, iconos, etc.). Tienen como ventaja la disminución del tiempo y facilitar el desarrollo, pero suelen ser caros y poco flexibles.<sup>55</sup>

### 6.2.2 SHELLS

Son programas preparados para la generación de sistemas expertos. Para proporcionan herramientas para apoyar el proceso de creación de las bases de conocimiento y motor de inferencia. Estas herramientas también son conocidas como: sistemas vacíos, armazones o generadores de sistemas expertos.

Los shells surgieron después de la creación de muchos SE (p. e. MYCIN), en los que quedo claro que estos sistemas estaban contruidos como un conjunto de representaciones declarativas (reglas en su mayor parte) combinadas con un intérprete de estas representaciones. También quedo claro que era posible separar el intérprete del conocimiento específico del dominio y por lo tanto se podían crear sistemas que podían ser usados para construir nuevos SE.<sup>56</sup>

Los shells deben de poseer al menos las siguientes utilidades o características:<sup>57</sup>

- Un mecanismo de inferencia.
- Un método o varios para la representación del conocimiento.
- Una o varias técnicas para el manejo de la incertidumbre.
- Un generador de interfaces gráficos (no siempre lo poseen).

Estas herramientas están muy orientadas hacia el usuario final de la aplicación y, por lo tanto, es importante elegir la herramienta adecuada al entorno y las necesidades que se quieren satisfacer, entre los factores a considerar tenemos:

---

<sup>55</sup> SISTEMAS EXPERTOS, <http://www.esi2.us.es/~dco/sistemas.htm>

<sup>56</sup> RICH y Knight, INTELIGENCIA ARTIFICIAL, pág. 610.

<sup>57</sup> CÁRDENAS Fernández, Joaquin, CURSO DE DOCTORADO. SISTEMAS EXPERTOS, Universidad de Sevilla.

- Determinar el alcance real del proyecto, es decir, si se desea construir un prototipo para evaluar la viabilidad del proyecto, o se desarrollará por completo el SE, esto permitirá optar por un shell de prueba o uno de mejor calidad.
- Conocer el dominio de aplicación del SE, para seleccionar un shell orientado a ese tipo de aplicación.

Entre los shells más comunes están: CLIPS, JESS y EMYCIN. Existen otros shells denominados híbridos, porque poseen características de entornos de desarrollo, algunos de estos son: KEE, ART, EGERIA, Kappa, Nexpert Object, Goldworks, LOOPS, Flavors.

Con el propósito de conocer la utilidad de los shells, a continuación se presenta la descripción del entorno de trabajo de CLIPS. Si desea conocer con mayor detalle los shells CLIPS y JESS consultar el documento *ETAPA I, CAPITULO II, Herramientas de desarrollo, Otras herramientas de desarrollo*, que se encuentra en el CD-ROM.

### **CLIPS (C Language Integrated Production System)<sup>58</sup>**

CLIPS (C Language Integrated Production System) fue desarrollado en el lenguaje C. Nace en el Centro especial Johnson de la NASA en 1984, en la sección de inteligencia artificial del mismo para suplir la necesidad de implementar los sistemas expertos que se estaban desarrollando, de forma que interactuaran con los sistemas computacionales que se utilizaban en ese momento.

Este shell es de libre distribución y no tiene un valor monetario en el mercado. El código origen de la aplicación esta disponible en la Internet. La versión 6.21 de CLIPS cuenta con una interfaz gráfica para los sistemas operativos Windows 95/98/NT y MacOS X/9.0. A continuación se describe esta versión.

#### ***Entorno de trabajo***

El shell CLIPS puede ser ejecutado de tres maneras: utilizando una interfaz orientada a texto (para DOS), mediante una interfaz gráfica (Windows), o incluida dentro de una aplicación donde el usuario provee una ventana principal que controla la ejecución de las funciones en el shell. Las funciones de CLIPS son compatibles con el lenguaje C y C++.

---

<sup>58</sup> CLIPS: Shell que se utilizó en el desarrollo del SE PARA DIAGNOSTICO DE ENFERMEDADES TROPICALES.

Para efectos de comprensión del shell, se explicara la interfaz gráfica de CLIPS para Windows.

### Interfaz gráfica

La ventana principal de CLIPS (llamada MAIN), provee el menú de herramientas desde donde se ejecutan las funciones del shell.

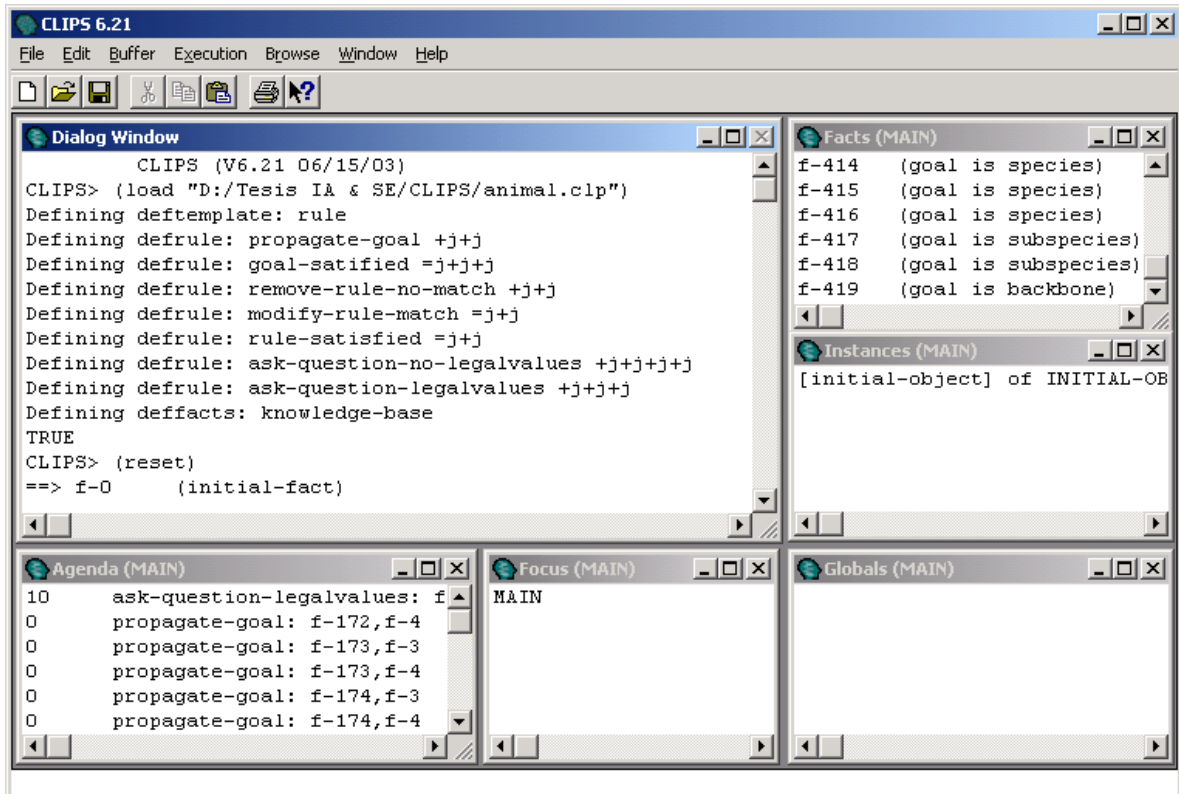


Figura 2.6.1. Interfaz gráfica de CLIPS

El conjunto de ventanas que se tienen disponibles desde la ventana principal son llamadas *entorno de trabajo*; y son las siguientes: *ventana diálogo*, *ventana hechos*, *ventana agenda*, *ventana instancias*, *ventana global* y *la ventana de enfoque*.

#### La ventana de diálogo (Dialog Window)

Contiene el interprete de comandos de CLIPS, en el cual las sentencias escritas en el prompt de comandos son ejecutadas en cada paso.

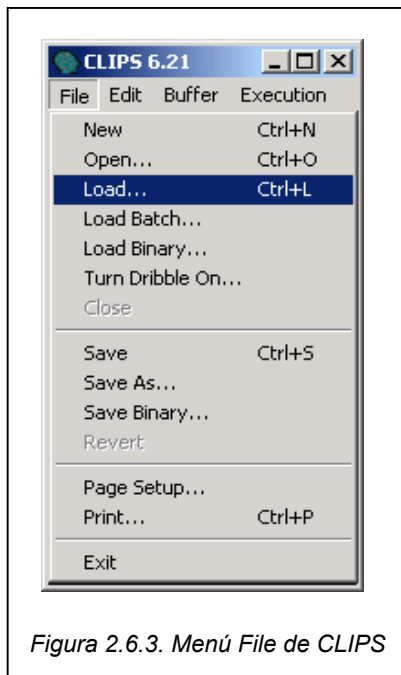


Figura 2.6.3. Menú File de CLIPS

Los comandos pueden ser llamadas a funciones, constructores, variables globales o constantes. Si se introduce una función en el prompt, esta se evalúa y el valor se imprime en la pantalla.

Los comandos de CLIPS pueden ser introducidos directamente en prompt, o cargados desde un archivo de dos formas:

- Escribiendo en el prompt el comando de carga, y la ruta del archivo.

```
CLIPS> (load "c:\ejemplo.clp")
```

- Utilizando la barra de herramientas de la ventana principal de CLIPS.

### *La ventana Hechos (Facts)*

Contiene una lista de hechos que representan el estado actual del conocimiento. Al momento de realizar las inferencias cargando una base de conocimientos, si se han definido hechos iniciales, son presentados en la ventana.

Cuando no hay hechos iniciales, la ventana permanece vacía hasta que se ejecuta el shell. En cada paso se añade a la lista nuevos hechos que se obtienen del proceso de inferencia. La lista de hechos puede ser consultada durante la ejecución, visualizando únicamente los hechos conocidos hasta ese momento. La ventana hechos de CLIPS es una analogía de la base de hechos.

### *La ventana Agenda*

Una vez cargada la base de conocimientos, contiene una lista de las reglas que pueden ser aplicadas en un momento determinado de la ejecución (pues se cumplen sus condiciones). La selección de reglas depende del método de búsqueda seleccionado por el usuario. La regla que se encuentra al inicio de la agenda es la próxima que será disparada.

### *Ventana Global*

Contiene las definiciones de las variables globales, que se han cargado en memoria durante la ejecución del shell.

### *Ventana Instancias (Instances)*

Muestra las instancias de objetos y la clase a la que pertenecen. Esta ventana se utiliza cuando el usuario ha definido sus propios objetos y quiere visualizar las instancias creadas durante la ejecución.

### *Ventana Enfoque (Focus)*

Presenta una lista de los módulos que han tenido el enfoque en algún momento de la ejecución. El primer elemento de la lista muestra el módulo que tiene actualmente el enfoque.

## **Manejo del conocimiento**

### *Almacenamiento*

En CLIPS, la base de conocimiento es almacenada de tres maneras:

- En un archivo de texto con extensión **clp**
- En un archivo de texto con extensión **txt**
- En archivo binario con extensión **bin**

Dentro de la base de conocimiento puede ser declarados también hechos iniciales, de los que se partirá al momento de la inferencia.

Existe otro tipo de archivos, que pueden contener comandos de CLIPS, estos son almacenados con la extensión **bat**.

### *Representación del conocimiento*

Existen 5 técnicas de representación del conocimiento que pueden implementadas en CLIPS: *lógica de predicados, sistemas de producción, marcos, redes semánticas y lógica difusa.*

En la implementación de lógica de predicados y sistemas de producción, se utiliza la declaración de *hechos ordenados* (order facts). Los hechos ordenados consisten de un símbolo seguido por una secuencia de cero o más campos separados por espacios. La declaración del hecho se delimita entre paréntesis "()". Por Ejemplo:

(nombre\_SO windows)

En la implementación de marcos y redes semánticas se utiliza la declaración de *hechos no ordenados* (*Non-ordered facts*). Para esto se utiliza el constructor **deftemplate**, el cual se define el nombre de una plantilla que contiene campos nombrados (llamados slots<sup>59</sup>), en los que serán introducidos los valores. Una analogía de la representación de este constructor son las estructuras definidas en el lenguaje C de borland.

Un **slot** consiste en el nombre del slot, seguido de cero o más campos.

*Ejemplo 2.6.11. Definición de plantilla:*

```
(deftemplate Software
  (slot nombre)
  (slot tipo)
  (slot proveedor)
)
```

En la implementación de lógica difusa se utiliza la declaración de hechos utilizando el constructor **deftemplate**, con la particularidad que al slot se le asigna un valor de probabilidad.

*Ejemplo 2.6.12. Definición de plantilla:*

```
(deftemplate Edad
  (joven (25,1)(50,0))
  (viejo (50,1)(65,1))
)
```

*Definición de reglas*

La definición de reglas, es uno de los métodos primarios utilizados para la representación del conocimiento. Para la definición de reglas en CLIPS, se utiliza el constructor **defrule**.

*Ejemplo 2.6.13.*

```
(defrule estado-comida
  ; ejemplo de definicion de regla con nombre estado-comida60
  (declare (salience 99))
  (refrigerador luz encendida)
  ; Lado izquierdo (LHS= Left Hand Side)
  (refrigerador puerta abierta)
=>
  (assert (refrigerador comida podrida))
  ; Lado derecho (RHS=Right Hand Side)
)
```

En el lado izquierdo se declaran las condiciones de la regla. El operador **and** se encuentra implícito en la declaración.

---

<sup>59</sup> Se diferencian con los campos de los hechos ordenados, en que poseen un símbolo para identificar su nombre, y los otros solo representan los valores

<sup>60</sup> El punto y coma (;) se utiliza para indicar al shell que los siguientes caracteres hasta el retorno de carro forman un comentario



En el lado derecho se declaran las acciones a ejecutar si se satisfacen las condiciones de la regla. El comando **assert** indica al motor de inferencia que se debe introducir un hecho a la lista de hechos conocidos (Agenda).

**Declare** se utiliza para declarar las propiedades de la regla, una de ellas es **salience**, que asigna el peso de la prioridad de la regla, en este caso es 99.

### ***Motor de inferencia***

El desarrollador de sistemas expertos define las reglas utilizadas para solucionar un problema. Las reglas son ejecutadas (o **disparadas**), según la existencia de hechos o instancias de clases definidas por usuarios. CLIPS provee el mecanismo (el **motor de inferencia**) para emparejar las reglas (determinar si se cumplen las condiciones) utilizando el estado actual del conocimiento del sistema (representado por la lista de hechos), y aplicar la acción.

### *Técnicas de búsqueda*

CLIPS provee siete estrategias de búsqueda: profundidad, anchura, simplicidad, complejidad, lex, mea y aleatoria.

#### 1. Estrategia de Profundidad

Las últimas reglas que han sido activadas se colocan sobre todas las reglas de la misma prioridad. Por ejemplo:

<u>Hecho</u>	<u>Reglas que activa</u>
A	1 y 2
B	3 y 4

Si el hecho A se introduce en la lista de hechos antes que el hecho B, las reglas 3 y 4 se colocaran en la primera posición en la agenda. Sin embargo, la posición relativa de la regla 3 y 4 como de 1 y 2 será arbitraria.

#### 2. Estrategia de Anchura

Las ultimas reglas que han sido activadas se colocan después de todas las reglas de la misma prioridad. Por ejemplo:

<u>Hecho</u>	<u>Reglas que activa</u>
A	1 y 2
B	3 y 4

Si el hecho A se introduce en la lista de hechos antes que el hecho B, las reglas 1 y 2 se colocaran en la primera posición en la agenda. Sin embargo, la posición relativa de la regla 3 y 4 como de 1 y 2 será arbitraria.

### 3. Estrategia de simplicidad

Entre las reglas de la misma prioridad, las nuevas reglas son colocadas antes que las reglas que tengan igual o mayor especificidad. La **especificidad** de una regla esta determinada por el Número de comparaciones que debe realizar en el lado izquierdo de la regla (LHS).

### 4. Estrategia de complejidad

Entre las reglas de la misma prioridad, las nuevas reglas son colocadas antes que las reglas que tengan igual o menor especificidad.

### 5. Estrategia LEX

Los hechos introducidos mas recientemente, se utilizan para determinar donde colocar la regla activada. Para colocar la regla se utiliza el valor del primer hecho asociado a la regla, y la que tenga el hecho con valor mayor se coloca sobre cualquier otra activación en la agenda.

### 6. Estrategia Aleatoria

En cada activación se asigna un número aleatorio que es utilizado para determinar el lugar de la ultima regla activada, entre las otras reglas de igual prioridad.

### 7. Estrategia MEA

Entre las reglas de la misma prioridad, las reglas activadas más recientemente, son colocados usando la estrategia OSP5.

### 6.2.3 HERRAMIENTAS CBR (Case-Based Reasoning)

Son herramientas de razonamiento basadas en casos a partir de los cuales se inducen las reglas o criterios por similitud. La demanda de herramientas de este tipo se está consolidando mediante la mejora de la calidad de sus productos con más utilidades y nuevos componentes.<sup>61</sup>

#### **XPERTRULE KNOWLEDGE BUILDER**

El Knowledge Builder (KB, Constructor de conocimiento) es un poderoso ambiente empresarial, para desarrollar e implementar, aplicaciones y componentes basados en conocimiento. Las aplicaciones basadas en conocimiento son elementos de software que incorporan reglas, pericia, procedimientos, políticas y reglamentos que colectivamente son llamados “Reglas de negocios” (“Business Rules”). La automatización de las reglas de negocios potencian la “economía del conocimiento” y el comercio electrónico. En particular el comercio electrónico significa hacer negocios a través de la red, que requiere desplegar conocimiento de negocios en la red.

La mayoría del software de ambiente de desarrollo orientados al desarrollo de soluciones con conocimiento, tienden a especializarse en direccionar una cierta clase de aplicaciones. KB es capaz de automatizar cualquier función basada en conocimiento en una organización desde los procesos frontales de oficina hasta los procesos de fondo.

#### ***Entorno de trabajo***

Una aplicación basada en conocimiento desarrollada en Knowledge Builder, es estructurada como un proyecto. Un proyecto consiste en uno o más módulos de conocimiento. Cada módulo de conocimiento contiene objetos: atributos, procedimientos, pantallas y reportes.

El explorador de conocimiento (Knowledge Explorer) permite visualizar todos los objetos del proyecto.

Desde el explorador de conocimiento se seleccionan objetos para su edición. Se pueden tener múltiples editores de objetos abiertos en el lado derecho del explorador.

---

<sup>61</sup> CÁRDENAS Fernández, Joaquín, CURSO DE DOCTORADO. SISTEMAS EXPERTOS, Universidad de Sevilla.

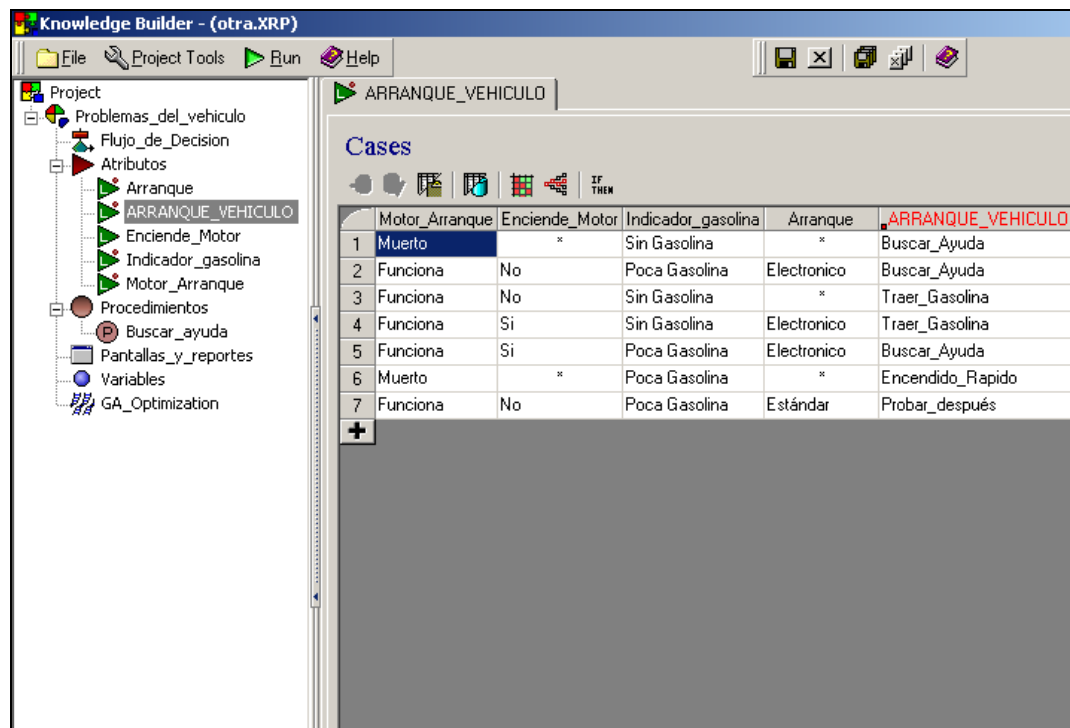


Figura 2.6.4. Interfaz gráfica del Knowledge Builder

## **Manejo del conocimiento**

### *Representación del conocimiento*

El KB soporta un amplio rango de representaciones de conocimiento. Esto permite a los desarrolladores dar soporte a muchas aplicaciones que contengan conocimientos. A pesar de la riqueza de la representación de conocimiento, el KB mantiene los mismos bloques de construcción de conocimiento gráfico a través de las representaciones. Esta consistencia de representación de conocimiento asegura la facilidad de mantenimiento y la habilidad de desarrollar aplicaciones híbridas.

### *Conocimiento para la toma de decisiones*

El conocimiento para la toma de decisiones implica: el diagnóstico, selección, recomendación, asesoramiento, valoración, monitoreo, flujo de trabajo y aplicaciones similares.

Típicamente, el conocimiento en esas aplicaciones es representado por reglas y árboles de decisión. En estas aplicaciones las decisiones son derivadas de atributos. Los atributos son obtenidos de los usuarios a través de pantallas de diálogo, cálculos y lectura de datos desde archivos. KB representa el conocimiento para la toma de decisiones utilizando árboles de decisión y tablas de casos.

Un árbol de decisión relaciona un resultado o decisión a un número de atributos como se muestra en el ejemplo de la figura 2.6.5 para el diagnóstico de problemas de encendido de un vehículo

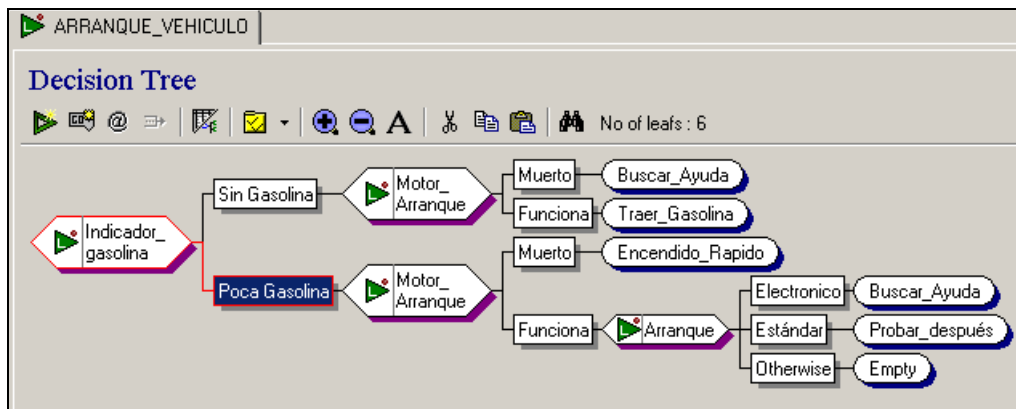


Figura 2.6.5. Arbol de decisión para el diagnóstico de problemas de encendido de un vehículo.

Un atributo en un árbol de decisión, en una tabla de casos puede ser representado por otro árbol de decisión o tabla de casos. A esto se le llama conocimiento “encadenado”.

Una tabla de casos contiene una lista de ejemplos o reglas que muestran como una salida o decisión se relaciona a una combinación de valores de atributos.

En la figura 2.6.6 se muestra la tabla de casos para el ejemplo del diagnóstico de problemas de encendido de vehículos.



	Motor_Arranque	Enciende_Motor	Indicador_gasolina	Arranque	ARRANQUE_VEHICULO
1	Muerto	*	Sin Gasolina	*	Buscar_Ayuda
2	Funciona	No	Poca Gasolina	Electronico	Buscar_Ayuda
3	Funciona	No	Sin Gasolina	*	Traer_Gasolina
4	Funciona	Si	Sin Gasolina	Electronico	Traer_Gasolina
5	Funciona	Si	Poca Gasolina	Electronico	Buscar_Ayuda
6	Muerto	*	Poca Gasolina	*	Encendido_Rapido
7	Funciona	No	Poca Gasolina	Estándar	Probar_después

Figura 2.6.6. Tabla de casos para el diagnóstico de problemas de encendido de vehículos.

El conocimiento es ejecutado por un motor de inferencia. En una aplicación que toma decisiones, el motor de inferencia tiene la tarea de obtener todas las decisiones o resultados requeridos.

Este proceso se realiza aplicando el conocimiento a los árboles de decisión y tablas de casos. Los valores de los atributos son pasados en ejecución al inicio de la inferencia. También pueden ser capturados por el proceso como cuando se encuentran esos atributos en los árboles o tablas.

---

---

# **PARTE II DESARROLLO DE UN SISTEMA EXPERTO**

---

## **CONTENIDO:**

CAPITULO III: IDENTIFICACION

CAPITULO IV: CONCEPTUALIZACION

CAPITULO V: FORMALIZACION

CAPITULO VI: IMPLEMENTACION

CAPITULO VII: VALIDACION

---

---

---

## CAPITULO III: IDENTIFICACION

---

La identificación es la primera fase de la metodología de desarrollo. Tiene como propósito familiarizarse con *el dominio de aplicación*, lo que hizo necesario realizar un proceso de *selección de dominios* que es el primer paso en el desarrollo del SE. Este paso permitió especificar y delimitar el dominio, identificando las tareas que deberá realizar, para asegurar el completo desarrollo del SE.

Para el desarrollo del SE, se ha elegido el dominio de **diagnóstico de enfermedades tropicales**, inicialmente bajo tres criterios básicos (*impacto social, necesidad de un SE y la disponibilidad de un experto humano en el dominio*) que permitieron reducir la cantidad de dominios y posteriormente aplicando tres macro-criterio (*experto, disponibilidad de información y características del problema*) para la selección final.

Para desarrollar esta fase se deben de cumplir con las actividades: selección de dominio de aplicación, definición de antecedentes, marco teórico, formulación del problema, análisis de factibilidad y planificación de las fases posteriores de la metodología.

Este capítulo está compuesto de las siguientes secciones:

1. **Selección de dominio de aplicación.**
2. **Marco teórico.**
3. **Formulación del problema.**
4. **Factibilidad de desarrollo.**

Para conocer el detalle de cada una de las secciones de este capítulo, consultar documento *ETAPA II, CAPITULO II*, que se encuentra en el CD-ROM.



# 1. SELECCION DE DOMINIO DE APLICACION

La selección de dominio es el primer paso para el desarrollo de un SE, consiste en familiarizarse con los problemas de diferentes dominios, con el propósito de seleccionar de una forma objetiva el dominio de aplicación del SE.

Las tareas que se deben desarrollar en la selección son:

## 1. Los criterios de selección.

El ingeniero de conocimiento (IC) debe establecer los macro-criterios de selección, que permitan satisfacer una necesidad y cumplir con el desarrollo del proyecto.

## 2. Selección de dominios de aplicación.

Esto se realiza aplicando inicialmente criterios básicos (como: impacto social, necesidad de un SE, existencia y disponibilidad de un experto) a distintos dominios, para reducir la cantidad de dominios que el IC pueda aplicar los macro-criterios establecidos.

## 3. Evaluación y selección de dominio.

Se debe de aplicar los macro-criterios (de la tarea 1), a los dominios resultantes de la aplicación de los criterios básicos (tarea 2), para seleccionar el dominio de aplicación que obtuvo mejores resultados en la evaluación.

## 1.1 CRITERIOS DE SELECCION

Los criterios que se utilizarán para la selección corresponden a un esquema de prioridades de las características que debe cumplir el dominio, para lograr los objetivos del proyecto.

*Cuadro 3.1.1. Macro-criterios para la selección del dominio.*

Macro-criterio	Porcentaje (%)
Experto	50
Disponibilidad de información	30
Características del problema	20

### Definición de macro-criterios y criterios

#### ***Experto***

Este macrocriterio pretende asegurar la disponibilidad adecuada del experto durante el desarrollo del sistema. Es evidente que es un factor crítico, sin el cual el proyecto no tendría posibilidades de llevarse a buen término, por lo que se ha asignado el mayor peso.

- *Disponibilidad:* Mide la cantidad de horas que el experto puede brindar al proyecto en su totalidad.
- *Costo:* Indica el costo que se deberá asumir de acuerdo al tiempo invertido por el experto.
- *Experiencia:* El objetivo es asegurar que el profesional que se considerara como experto, realmente lo sea.

#### ***Disponibilidad de información***

Se pretende establecer el acceso a información importante sobre el dominio para el desarrollo del sistema experto.

- *Casos típicos:* Se pretende identificar la cantidad de información de casos típicos en el dominio a los que se tendrá acceso, esto es importante al momento de realizar las pruebas.
- *Casos límite:* Se pretende identificar la cantidad de información de casos especiales dentro del dominio, a los que se tendrá acceso.

- *Información teórica:* determina la calidad de información a la que se tendrá acceso. Esta es importante al momento de que el equipo de desarrollo se encuentre en la etapa inicial de la adquisición del conocimiento, donde tiene que familiarizarse con el tema del dominio.

### **Características del problema**

Este macro-criterio evalúa la complejidad y la estabilidad del problema planteado en el dominio.

- *Estabilidad:* Se pretende identificar la vigencia en años, en que un problema pueda ser solventado. Este criterio se ve afectado por cambio de políticas gubernamentales e institucionales.
- *Complejidad:* Mide la cantidad de tareas involucradas en el dominio, las cuales determinan la complejidad del sistema experto.

Cuadro 3.1.2. Tabla general de macro-criterios y criterios

Macro-criterio		Criterio	Ponderación
Experto	1	Disponibilidad	25
	2	Costo	8
	3	Experiencia	17
Disponibilidad de información	1	Casos típicos	11
	2	Casos límite	11
	3	Información teórica	8
Características del problema	1	Estabilidad	9
	2	Complejidad	11

## 1.2 SELECCION DE DOMINIOS DE APLICACION

Para elegir un determinado grupo de dominios de aplicación, se considerarán tres criterios básicos: *impacto social, necesidad de un SE y la disponibilidad de un experto humano en el dominio.*

- *El impacto social*

Es medido por los beneficios directos o indirectos que puede traer a la sociedad salvadoreña la solución de un problema a través de un SE. Para ello se debe identificar los sectores de la vida cotidiana que presenten deficiencias o que propicien un decaimiento considerable en la calidad de vida de la población.

Para aplicar este criterio se tomó como base estudios realizados por instituciones especializadas (UCA). Estos estudios destacan los aspectos que más trascienden en el bienestar social. Se encuentran ubicadas en cuatro grandes áreas: *salud, educación, agricultura y economía.*

Este criterio permitió reducir a estas cuatro áreas la búsqueda de posibles dominios.

- *La necesidad de un SE*

Está determinada por la ocurrencia de cualquiera de dos variables: La intratabilidad del problema por lo poco *estructurado de los procesos que involucra* o la ocurrencia del fenómeno de *explosión combinatoria* al ser modelado en un sistema tradicional.

- *Disponibilidad de un experto*

Un SE requiere ser alimentado con conocimiento experto, por lo que se debe asegurar la existencia de un experto que proporcione el conocimiento necesario para el desarrollo del SE.

Este criterio permitió seleccionar solo aquellos dominios en los cuales existía un experto disponible para el desarrollo del proyecto.

Estos tres criterios básicos permitieron reducir la selección a los siguientes cinco dominios: *Investigación clínica, enfermedades respiratorias, diagnóstico de enfermedades tropicales, análisis de riesgos y planificación de cultivos.*

### 1.3 EVALUACION Y SELECCION DE DOMINIO

Se realizó un proceso de análisis y formulación del problema para los dominios seleccionados, con el objetivo de conocerlos más detalladamente. Posteriormente se evaluaron a través de los parámetros agrupados en macro-criterios.

Los resultados obtenidos al terminar el proceso de evaluación se presentan en el cuadro 3.1.3.

Cuadro 3.1.3. Resultados globales de la evaluación de dominios.

Dominio	Experto	Disponibilidad de información	Características del problema	Totales
	<b>50%</b>	<b>30%</b>	<b>20%</b>	<b>100%</b>
<i>Diagnóstico de enfermedades tropicales</i>	41.5	30.0	17.8	89.3
<i>Análisis de riesgos para incendios</i>	37.5	30.0	17.8	85.3
<i>Investigación clínica</i>	25.0	30.0	6.7	61.7
<i>Planificación de cultivos</i>	29.0	30.0	2.2	61.2
<i>Enfermedades respiratorias</i>	30.0	13.5	6.6	50.1

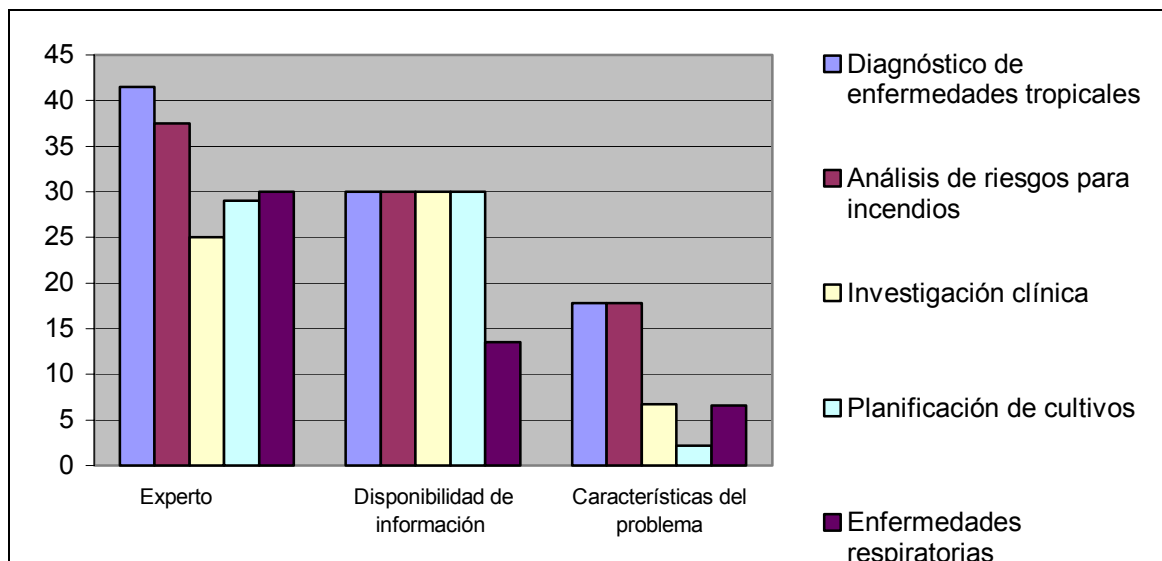


Figura 3.1.1. Gráfica de los resultados globales de la evaluación de dominios.

Puede observarse que de acuerdo a la evaluación, el dominio de aplicación seleccionado fue el **diagnóstico de enfermedades tropicales**.

## 2. MARCO TEORICO DEL DOMINIO

### 2.1 MEDICINA TROPICAL

#### 2.1.1 ¿QUE ES MEDICINA TROPICAL?

Es el área de la medicina que estudia las enfermedades propias de los países tropicales.

Donde se entenderá por medicina al conjunto de conocimiento científicos y actividades técnicas destinadas a lograr el diagnóstico, curación y prevención de las enfermedades.

#### 2.1.2 UBICACION EN LAS CIENCIAS MEDICAS

Tal y como se muestra en el cuadro 3.2.1, la medicina tropical se ubica como una especialidad de las ciencias médicas.

Cuadro 3.2.1. Ubicación de la medicina tropical en las ramas de las ciencias médicas.

ESPECIALIDAD	SUB-ESPECIALIDAD
ANESTESIOLOGIA	ANESTESIA EPIDURAL ANESTESIA ESPINAL ANESTESIA GENERAL ANESTESIA LOCAL HIBERNACION ARTIFICIAL
CARDIOLOGIA	
CIENCIAS PARAMEDICAS	AUDIOMETRIA OPTOMETRIA ORTOPTICA OSTEOPATIA PUERICULTURA
DERMATOLOGIA	
ELECTRORRADIOLOGIA	ELECTRODIAGNOSTICO ELECTROCARDIOGRAFIA ELECTROENCEFALOGRAFIA MIOGRAFIA RADIODIAGNOSTICO ANGIOGRAFIA RADIOTERAPIA
GASTROENTEROLOGIA	
GERIATRIA	
GINECOLOGIA	
HEMATOLOGIA	

INMUNOLOGIA	ESPECIFICIDAD DE LOS ANTICUERPOS FORMACION DE ANTICUERPOS GRUPOS SANGUINEOS INMUNOLOGIA DE TRASPLANTES INMUNOTOLERANCIA REACCIONES ANTIGENO-ANTICUERPO
MEDICINA AEROESPACIAL	
MEDICINA DEL TRABAJO	
MEDICINA FISICA	
MEDICINA FORENSE	
MEDICINA GENERAL	
MEDICINA NAVAL	
MEDICINA NUCLEAR	
MEDICINA PREVENTIVA	ANTISEPSIA DESCONTAMINACION ENCUESTAS SANITARIAS EPIDEMIOLOGIA VACUNACION
MEDICINA PRIMITIVA	
MEDICINA SOCIAL	
<b>MEDICINA TROPICAL</b>	
MEDICINA VETERINARIA	
NEUROLOGIA	NEUROCIRUGIA
OBSTETRICIA	ABORTO PROVOCADO ABORTO TERAPEUTICO ABORTO VOLUNTARIO PARTO CESAREA EXTRACCION OBSTETRICA PRESENTACION DEL FETO
ODONTOLOGIA	CIRUGIA BUCAL ENDODONCIA ODONTOLOGIA PREVENTIVA ORTODONCIA PERIODONCIA PROSTODONCIA
OFTALMOLOGIA	
OTORRINOLARINGOLOGIA	
PATOLOGIA	PATOLOGIA ANIMAL PATOLOGIA VEGETAL PSICOPATOLOGIA
PEDIATRIA	
PSIQUIATRIA	MEDICINA PSICOSOMATICA PRUEBAS PSIQUIATRICAS PSICOANALISIS PSICOPATOLOGIA PSICOTERAPIA
SEROLOGIA	
SOFROLOGIA	

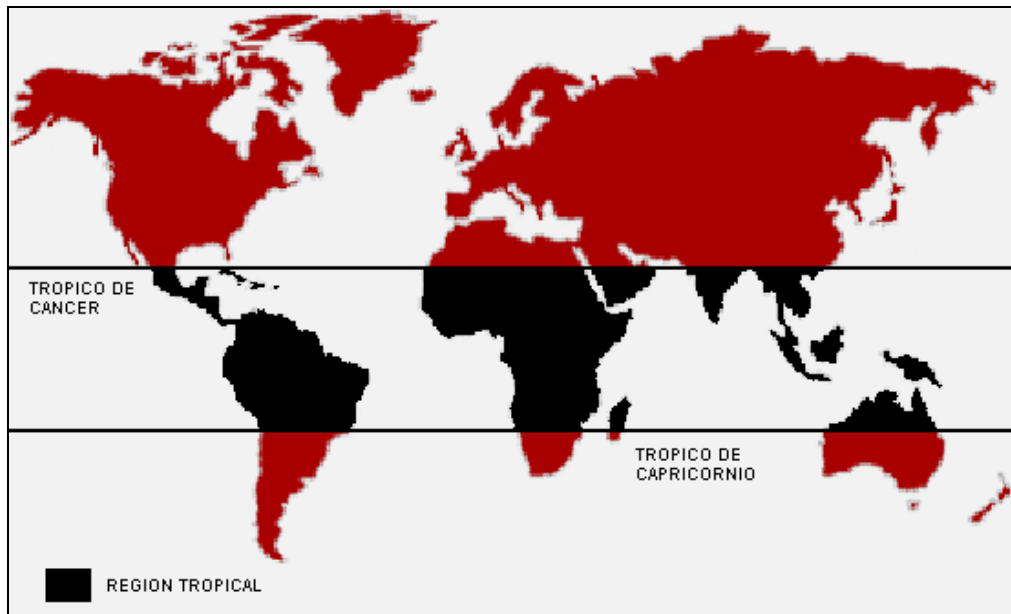
## 2.2 ENFERMEDADES TROPICALES

### 2.1.1 ¿QUE SON LAS ENFERMEDADES TROPICALES?

Son las enfermedades que se originan en las regiones tropicales y subtropicales. Las regiones tropicales son las que están comprendidas entre el trópico de cáncer y el trópico de capricornio (ver figura 3.2.1). Son enfermedades de tipo infeccioso.

Entre las regiones con mayor incidencia de estas enfermedades están:

- Africa
- Asia (China y Sudeste Asiático)
- Latinoamérica (México, Centroamérica, Sudamérica y el Caribe)
- Oceanía (Noroeste de Oceanía y parte de Australia)



*Figura 3.2.1. Mapa del mundo que muestra las regiones tropicales*

---



## 2.1.2 CARACTERISTICAS

Las características más importantes de las enfermedades tropicales son:

- En la mayoría de los casos son identificadas dentro de las regiones tropicales.
- Se observan en los países en vías de desarrollo, y ocasionan altos índices de morbilidad y mortalidad.
- Su incidencia es producto de la falta de prevención, higiene o control de vectores (por ejemplo: mosquitos, chinches, etc.).
- Sus efectos se dan con mayor frecuencia sobre la población de escasos recursos económicos.

## 2.1.3 CLASIFICACION

Tomando como base la información proporcionada por el experto médico, las enfermedades tropicales pueden agruparse de acuerdo a los síntomas comunes que presentan y el grado de incidencia en el país.

### ***Según los síntomas***

Los enfermedades tropicales presentan tres síntomas principales: fiebre, diarreas y alteraciones en los componentes sanguíneos. Los grupos responden a estos tipos de síntomas y se clasifican en:

- Febriles.
- Diarreicas.
- Sanguíneas.

#### **1. Febriles**

Entre las enfermedades que provocan cuadros clínicos con síntomas febriles tenemos por ejemplo: la malaria o paludismo, dengue, fiebre amarilla, fiebre tifoidea, fiebres hemorrágicas víricas, entre otros.

Otros síntomas observados son:

- Malestar general
- Cansancio intenso (debilidad)

- Pérdida de apetito
- Dolor de cabeza
- Molestias abdominales
- Dolores musculares
- Fiebre
- Escalofríos

Síntomas observados en otras enfermedades que se desarrollan de forma muy parecida como: gripe, hepatitis, cáncer, etc., por lo que se hace difícil detectarlas.

## **2. Diarreicas**

En este grupo se encuentran la amibiasis intestinal, cólera, diarrea del viajero, parasitosis intestinal, diarrea común, etc., y presentan los siguientes síntomas:

- En algunas ocasiones diarreas con sangre.
- Nauseas o vómitos (parecidos a los del dengue y la fiebre amarilla)

Algunas enfermedades como la amibiasis intestinal y diarrea del viajero tienen síntomas semejantes a las enfermedades febriles.

## **3. Parasitosis hematológicas**

Las enfermedades que provocan alteraciones de los componentes sanguíneos tenemos: la leishmaniasis y el chagas. También presentan lesiones o pigmentación de la piel.

### ***Según el grado de incidencia***

Según el grado de incidencia de las enfermedades tropicales en El Salvador estas, se pueden clasificar en:

#### **1. Enfermedades tropicales con alto grado incidencia**

Algunos ejemplos son:

- Malaria o paludismo
- Dengue

- Fiebre tifoidea
- Leishmaniasis
- Chagas
- Cólera
- Diarrea del viajero
- Amebiasis
- Parasitosis intestinal

## **2. Enfermedades tropicales con poca o nula incidencia**

Entre los ejemplos más comunes están:

- Fiebre amarilla
- Lepra
- Tuberculosis
- Oncocerciasis
- Tripanosomiasis
  - Enfermedad de la mosca tse-tse
  - Enfermedad del sueño
- Fiebres hemorrágicas víricas
  - Fiebre de Lassa.
  - Fiebre del Valle del Rift.
  - Fiebre hemorrágica de Crimea-Congo.
  - Fiebre hemorrágica por Marburg y Ebola.
- Esquistosomiasis
- Filariasis
- Frambesia
  - Mal del pinto
  - Pian

## 2.3 ENFERMEDADES TROPICALES BASES DEL SE

Para el desarrollo satisfactorio del proyecto, se seleccionaron las enfermedades tropicales que servirán de base para la construcción del SE.

Esta selección se realizó a partir de la clasificación de las enfermedades según el grado de incidencia. Se consideraron de mayor importancia las enfermedades con mayor incidencia en El Salvador.

Estas enfermedades son las siguientes:

- Amibiasis
- Balantidiasis
- Chagas (forma aguda y crónica)
- Cólera
- Dengue (clásico y hemorrágico)
- Giardiasis
- Fiebre tifoidea
- Leishmaniasis (cutánea y visceral)
- Paludismo y paludismo crónico
- Shigellosis

Con el propósito de lograr una mejor comprensión de las enfermedades tropicales que servirán de base para el desarrollo del sistema experto, se obtuvo información sobre *síntomas clínicos, formas de transmisión y tratamientos de las enfermedades* (Ver en CD-ROM: *ETAPA II, CAPITULO II, Marco teórico*).

## 3. FORMULACION DEL PROBLEMA

### 3.1 DIAGNOSTICO DE ENFERMEDADES TROPICALES

Las enfermedades tropicales constituyen uno de los mayores problemas de salud en Latinoamérica. Entre las enfermedades tropicales de más alta incidencia están: paludismo (malaria), fiebre tifoidea, chagas, cólera y parasitosis intestinal.

Según el Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social (MSPAS), 376,320 consultas ambulatorias por parasitismo intestinal fueron atendidas en el año 2002.<sup>62</sup>, lo que la coloca como la segunda causa de morbilidad en El Salvador. Los casos confirmados de paludismo, dengue clásico y chagas ascendieron a 117, 5,064 y 1,027 respectivamente.

Los principales factores que generan la morbilidad de estas enfermedades son: falta de educación, desnutrición, hacinamiento y hábitat. Condiciones asociadas a la población más pobre, que crean la necesidad de que sea el estado el encargado de garantizar a la población la infraestructura y, en algunos casos, los medicamentos necesarios para prevenir, combatir y tratar estas enfermedades.

Desde el punto de vista médico, las causas del problema se *encuentran en la falta de documentos operativos relativos al diagnóstico y tratamiento de estas enfermedades*. Algunas de estas enfermedades son ignoradas por las instituciones de salud e incluso por las instituciones responsables de la formación de profesionales de la medicina. A lo que se debe agregar la carencia de especialistas en enfermedades tropicales (El Salvador cuenta solamente con dos especialistas).

Por otro lado, la falta de políticas orientadas a la educación y reducción de la pobreza, hacen que el problema tome una connotación política que se sobrepone a la medicina, y que de continuar así hará que este sea un problema más grave para la región latinoamericana.

Carlos Morel, director del programa de la OMS para la Prevención y Erradicación de Enfermedades Tropicales, asegura que las compañías farmacéuticas no están interesadas en descubrir vacunas para las enfermedades tropicales "porque no hay mercado y los países a los que les interesarían las vacunas no tienen dinero para adquirirlas". Afirma además, que es la falta de recursos de estos países el mayor inconveniente que la industria farmacéutica tiene para investigar y desarrollar

---

<sup>62</sup> Incluye: Consultas médicas atendidas en Consultorios Externos y de Emergencia

nuevos medicamentos, "aunque tampoco les interesa a las compañías desarrollar una vacuna que cuando se aplique haga que el mercado de medicamentos paliativos desaparezca".<sup>63</sup>

### 3.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

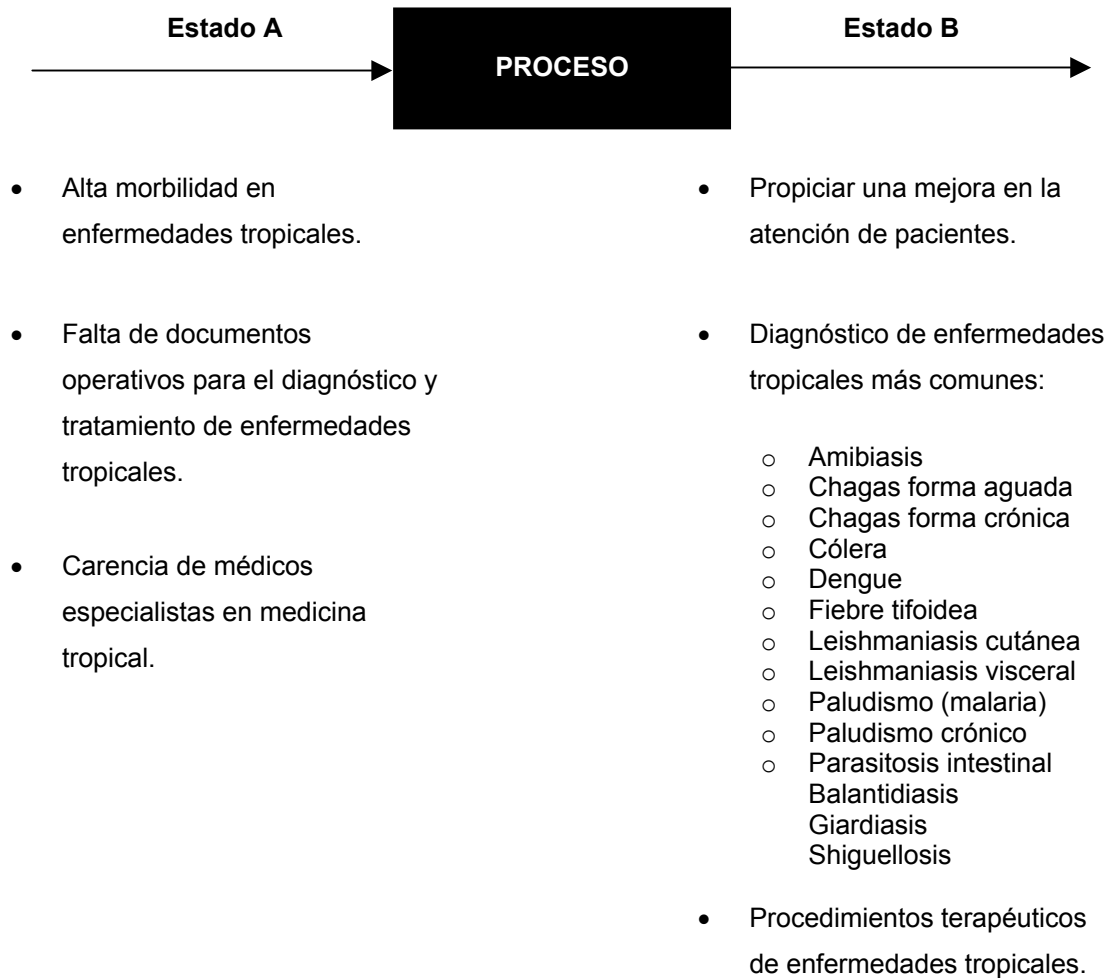


Figura 3.3.1. Planteamiento del problema a través del método de la caja negra.

---

<sup>63</sup> <http://diariomedico.recoletos.es/ultimas/not270899b.html>

### 3.3 DEFINICION DEL PROBLEMA

*Propiciar una mejora en la atención de pacientes con enfermedades tropicales más comunes a través de su diagnóstico y tratamiento.*

El sistema reconocerá las características de las enfermedades y señalará las posibles causas de la sintomatología mostrada, con lo que emitirá como una primera recomendación los exámenes de laboratorio que ayuden a confirmar las sospechas de enfermedades. Posteriormente, el sistema deberá recibir los resultados de los análisis de laboratorio para diagnosticar la enfermedad que padece el paciente y el tratamiento enfermedad. En caso de no poder determinar una causa específica, deberá referir al paciente a otro especialista.

#### Enfoque de sistemas

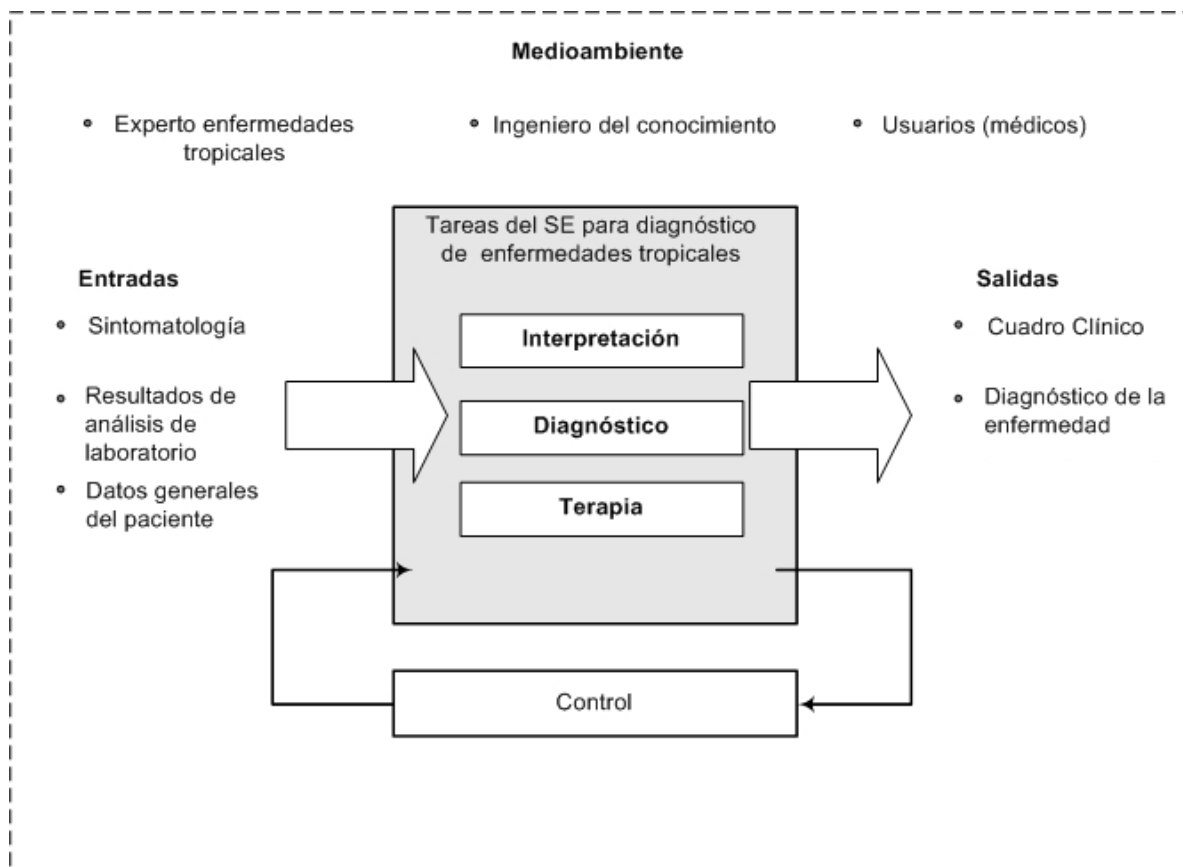


Figura 3.3.2. Enfoque de sistemas del SE para el diagnóstico de enfermedades tropicales.

### 3.4 DESCRIPCION DEL SISTEMA EXPERTO

El *sistema experto para el diagnóstico de enfermedades tropicales* es un conjunto de elementos formado por: **base de conocimiento**, **motor de inferencia** y **base de hechos**. Tienen como objetivo establecer un cuadro clínico de un paciente, para posteriormente realizar un diagnóstico de la enfermedad.

#### SALIDAS

- *Cuadro clínico.*

En una primera oportunidad, el cuadro clínico se basa solamente en la sintomatología mostrada por el paciente. Posteriormente, se establece una relación entre los síntomas y los resultados de los exámenes de laboratorio, con lo que se determina la enfermedad padecidas.

- *Diagnóstico.*

Cuando no se cuenta con los exámenes de laboratorio, el sistema emitirá un diagnóstico aproximado que servirá para recomendar los exámenes de laboratorio necesarios para dar un diagnóstico más concreto. En los casos en que las enfermedades se comporten en fases o etapas, se debe determinar en cual de ellas se encuentra la enfermedad.

#### ENTRADAS

- *Sintomatología.*

Consiste de un conjunto de síntomas y signos mostrados por el paciente. Por ejemplo: fiebre, diarrea, úlceras, etc.

- *Resultados del análisis de laboratorio.*

Resultados de exámenes de laboratorio clínico generales y específicos de sangre, orina, heces, etc.

- *Datos generales del paciente.*

Nombre, sexo, edad, peso, estatura, entre otros. Estos datos permitirán establecer el tratamiento más adecuado para la persona.



## PROCESOS<sup>64</sup>

- *Interpretación.*

Permitirá identificar un cuadro clínico asociado a una de las enfermedades que se encuentren en la base de conocimientos, sobre la base de la sintomatología mostrada y otros datos resultantes de los exámenes de laboratorio.

- *Diagnóstico.*

Una vez identificado el cuadro clínico, puede hacerse un diagnóstico de la enfermedad.

- *Terapia.*

Una vez identificada la enfermedad, el sistema deberá determinar la terapia a seguir.

## CONTROL

- *Actualización de la base de conocimientos.*

Se realizará a través de la interfaz de comunicación con el experto, que deberá permitir la incorporación de nuevo conocimiento de manera sencilla y eficiente.

- *Validez de los resultados.*

Si el sistema no es capaz de emitir un diagnóstico confiable, debe optar por responder de manera negativa a la solicitud.

- *Validación:*

Deben de asegurarse que los datos que se introduzcan sean correctos y consistentes.

---

<sup>64</sup> Llamados tareas en la terminología de los SE.

## 3.5 EJEMPLO DE DIAGNOSTICO

Cualquiera que sea la enfermedad, el médico debe de partir de una serie de signos y síntomas para tener una idea de la enfermedad que padece el paciente.

### Caso sospechoso

Paciente con enfermedad febril aguda (temperatura axilar  $\geq 38^\circ$ ), de 2 a 7 días de duración máxima y con dos o más de las siguientes manifestaciones: cefalea, dolor retrocular, mialgias, artralgias, erupción cutánea, y leucopenia, con manifestaciones hemorrágicas.

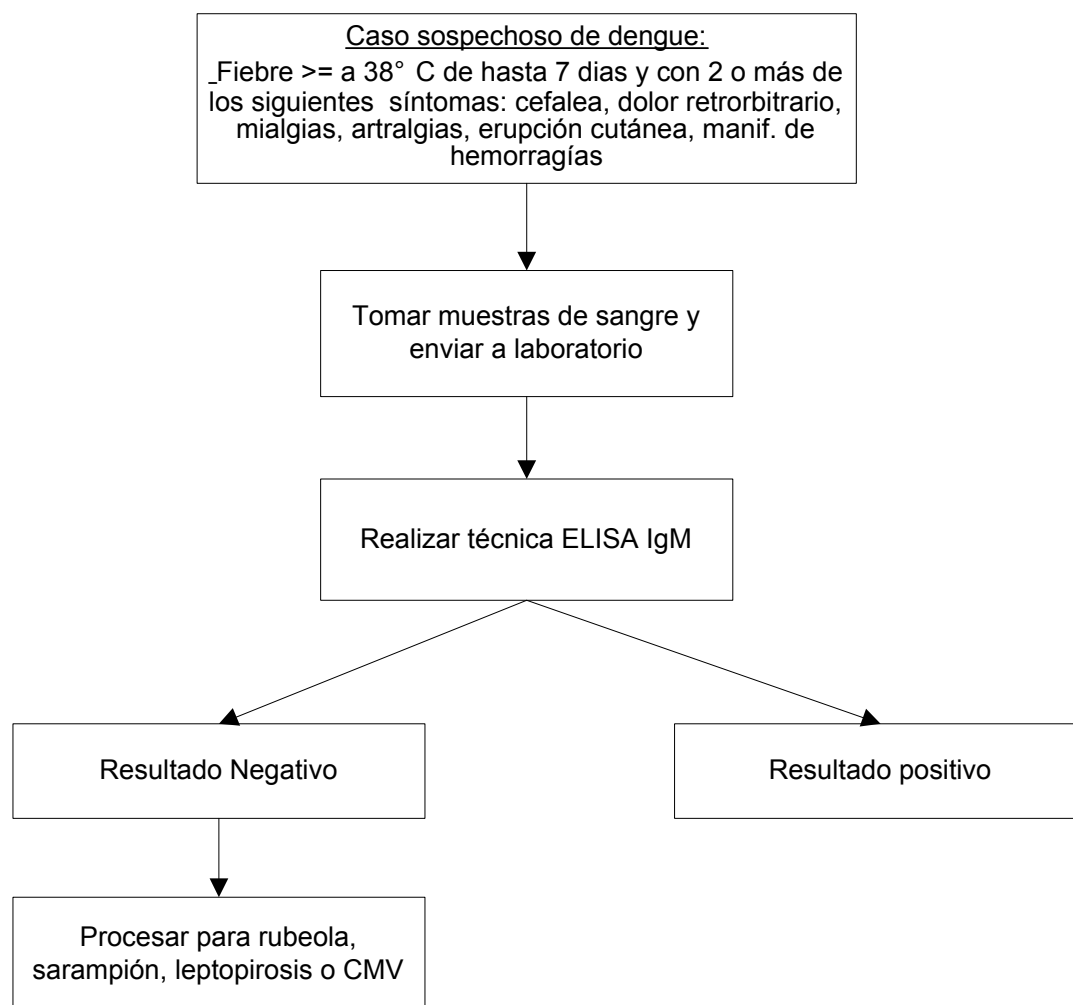
### Caso confirmado

Habiendo excluido otras entidades responsables de igual cuadro clínico, puede confirmarse el caso de dengue, a través de:

- Prueba serológica confirmatoria positiva: (IgM+ IgG+). Puede requerir métodos complementarios.
- Por nexos epidemiológico de un caso confirmado por laboratorio.
- En el curso de una epidemia por criterios clínico epidemiológicos.

### Diagnóstico

Con un criterio asistencial es de elección el diagnóstico serológico. Por reacción de ELISA en microplaca se identifican anticuerpos de clase IgM, así como anticuerpos totales (IgM-IgG). Este proceso puede ser esquematizado como se muestra en la figura 3.3.3.



*Figura 3.3.3. Esquema del proceso de diagnóstico para un caso sospechoso de dengue.*

---

## 4. FACTIBILIDAD DEL DESARROLLO

El propósito de la factibilidad del desarrollo es determinar si el SE para el diagnóstico de enfermedades tropicales, cumple los requisitos para su implementación. Así se pueden demostrar las posibilidades que el SE, posee para convertirse en una herramienta de apoyo para las unidades de salud en El Salvador.

La evaluación de la factibilidad se ha dividido en tres partes que son: *técnica, económica y operativa.*

### 4.1 FACTIBILIDAD TECNICA

#### RECURSO TECNOLOGICO.

##### Hardware

*Cuadro 3.4.1. Requerimientos de hardware para el desarrollo del sistema experto.*

CANT.	EQUIPO	DESCRIPCIÓN
4	Computadoras personales	Pentium III, Procesador 750 Mhz, 64 RAM, Disco duro de 20 GB
1	Impresor de Inyección	HP Deskjet 940c
1	Scanner	CanonScan
1	Grabadora de CD	HP CD - Writer Plus 8100 Series
3	Reguladores de voltaje	-
1	UPS	Apollo 900

##### Software.

###### *Herramientas de oficina*

Se utilizaran las herramientas siguientes:

- Procesadores de palabras
- Procesador de imágenes
- Hojas electrónicas.

### *Herramientas de desarrollo*

Las herramientas de desarrollo permitirán programar el SE, estas son:

- C Language Integrated Production System (CLIPS).
- Microsoft Visual C++ y Microsoft Visual Basic, ambos en su versión 6.0.

## **RECURSO HUMANO**

Para el desarrollo del sistema se requerirá del siguiente personal:

- Ingeniero de conocimiento
- Programadores.
- Experto en enfermedades tropicales.

Todos los recursos antes mencionados se encuentran disponibles, por lo que el desarrollo es factible desde el punto de vista técnico.

## **4.2 FACTIBILIDAD ECONOMICA**

Por la naturaleza del proyecto, la factibilidad económica se abordará haciendo un análisis de los costos asociados al desarrollo del SE y los beneficios que este aportará.

### **Costos de desarrollo**

El costo total del proyecto de desarrollo, determinado en la planificación del proyecto, indica un desembolso de \$31,660.93.

### **Análisis de beneficios**

El impacto social es uno de los elementos fundamentales para la selección del dominio del SE. Un *SE para el diagnóstico de enfermedades tropicales*, propiciará un incremento en la calidad de la atención al paciente.

En la mayoría de los casos, las personas acuden a los hospitales de segundo y tercer nivel para recibir consultas de emergencias asociadas a enfermedades tropicales. Esto genera una carga hospitalaria innecesaria en estos centros de atención, que se traduce en elevados costos de operación en dichos centros.

Como ejemplo, según el experto en enfermedades tropicales: Dr. Héctor Ramos, un tratamiento de *chagas* en la primera fase puede costar unos 200 dólares. Si la enfermedad no es diagnosticada a

tiempo, las complicaciones pueden derivar en patologías que deben ser tratadas en hospitales de segundo y tercer nivel, que puede llegar a costar hasta unos 20,000 dólares. Costos que en la mayoría de los casos son absorbidos por estos hospitales.

Según el Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social (MSPAS), para el 2002 los casos confirmados de *malaria*, *dengue clásico* y *chagas* son de 117, 5,064 y 1,027 respectivamente. Por lo que ha desarrollado un programa de control y erradicación de los vectores que transmiten estas enfermedades incluyendo *leishmaniasis*. Un SE para el diagnóstico y tratamiento de estas enfermedades vendría a sumarse a los esfuerzos para erradicarlas.

Las recientes epidemias de *dengue hemorrágico* y *cólera* exigen que el sistema de salud del país establezca las condiciones para poder diagnosticar las enfermedades de manera temprana.

Los beneficios identificados son:

- Aumento en la calidad de atención a los pacientes en los hospitales de primer nivel.
- Reducción de los costos asociados a la atención de enfermedades tropicales en hospitales de niveles superiores.
- Uso del SE como una herramienta educativa.

Aun cuando los beneficios no pueden ser comparados cuantitativamente con los costos, se observa un profundo impacto social, que hace el proyecto económicamente factible.

### 4.3 FACTIBILIDAD OPERATIVA


Una de las limitaciones que los sistemas expertos tienen desde el punto de vista operativo es la resistencia de los usuarios (médicos) al uso de este tipo de sistemas por la “amenaza” que estos representan y la desconfianza de sus resultados. Por lo que se deben realizar esfuerzos de capacitación y concientización de la importancia de la implementación del sistema.

Otra de las condiciones operativas para la implementación del sistema es la de proveer a las unidades de salud de todo el país, de equipo informático para el funcionamiento del mismo. Lo anterior puede ser retomado por el MSPAS como parte del programa de disminución de incidencia de casos de *dengue*, *malaria*, *chagas* y *leishmaniasis* mencionado anteriormente.

Por otro lado, el sistema puede ser implementado en la Facultad de Medicina de la UES como una herramienta educativa en la formación de nuevos profesionales de la medicina.

---

---



---

La conceptualización constituye la segunda fase del ciclo de vida de la metodología seleccionada. El propósito principal de esta fase es adquirir y modelar el conocimiento del experto.

En esta fase el ingeniero del conocimiento (IC) logra la comprensión del dominio, la asimilación de terminología utilizada y la formulación inicial de un mapa mental de los conocimientos que el experto médico (EM) utiliza para solucionar el problema del dominio.

La conceptualización conlleva un proceso de estructuración de los conocimientos adquiridos y se desarrolla en una etapa doble: la primera corresponde con una actividad de adquisición y análisis y, la segunda de un trabajo de síntesis del conocimiento. Este proceso permite conformar un marco inicial del conocimiento del dominio que el experto utiliza durante la realización de su trabajo. En otras palabras, permite definir el ***mundo posible*** para el sistema<sup>65</sup>.

La fase de conceptualización se estructura con los siguientes pasos, según el método BGM<sup>66</sup>:

- 1. Adquisición de conocimientos.**
- 2. Enunciación de conceptos.**
- 3. Parametrización de conceptos.**
- 4. Planteamiento de causalidades.**
- 5. Verificación.**

En este capítulo se presenta el resumen de cada uno de los pasos del proceso de conceptualización. Si se desean conocer los resultados completos del proceso, consultar documento *ETAPA III, CAPITULO I*, que se encuentra en el CD-ROM.

---

<sup>65</sup> En términos generales, un mundo es posible para el sistema, siempre y cuando ese mundo sea congruente con todo lo que el sistema sabe.

<sup>66</sup> García Martínez, Rossi, y Britos, METODOLOGIAS DE EDUCACIÓN DE CONOCIMIENTO PARA LA CONSTRUCCION DE SISTEMAS INFORMATICOS EXPERTOS.

# 1. ADQUISICION DEL CONOCIMIENTO

La adquisición es el paso inicial de la conceptualización, este comprende el establecimiento del *ciclo de actividades* que se realizarán en cada entrevista y la ejecución de las *tareas del proceso de adquisición del conocimiento* con el experto médico.

## 1.1 CICLO DE CADA ENTREVISTA

Para realizar cada una de las entrevistas se siguieron las actividades siguientes:

### 1. PLANIFICACION DE LA ENTREVISTA.

- Definición del objetivo general y específico.
- Determinar la técnica a utilizar.
- Preparación de material de apoyo.
- Elaboración de preguntas.
- Otros:  
Preparación de equipo para grabar el desarrollo de la entrevista (radio grabadora y cintas de audio).

### 2. DESARROLLO DE LA ENTREVISTA.

- Repaso de objetivos, estructura o preguntas globales y material de apoyo por los ingenieros de conocimiento.
- Explicación al experto médico de los objetivos y la técnica a utilizar.
- Evaluación por el experto de las preguntas iniciales y aclaratorias.
- Resumen, comentarios y sugerencias del experto.

### 3. TRASCIPCION DE LA ENTREVISTA.

### 4. ANALISIS DE LA INFORMACION DE LA ENTREVISTA.

- Lectura general de la entrevista.
- Lectura en detalle para la extracción de conceptos.
- Lectura detallada de la entrevista e información estática para identificar ambigüedades o para verificar detalles de la información.
- Recomendaciones del ingeniero de conocimiento para mejorar el proceso de extracción.



## 1.2 TAREAS DEL PROCESO DE ADQUISICION

El proceso de adquisición del conocimiento realizado en el proyecto comprende las tareas siguientes:

1. Adquisición e identificación inicial del conocimiento.
2. Extracción estática de conocimientos.
3. Extracción de conocimiento del experto médico.

### 1.2.1 ADQUISICION E IDENTIFICACION INICIAL DEL CONOCIMIENTO

Esta tarea comprende las primeras entrevistas con el experto médico (entrevistas 1,2 y 3).. El análisis de estas entrevistas permitieron:

- Establecer el compromiso y beneficios del experto médico en el desarrollo del SE, identificar las necesidades de los usuarios potenciales, Introducir al ingeniero de conocimiento en el dominio para determinar si la tarea del experto es tratable mediante la ingeniería de conocimiento y definir la agenda de futuras entrevistas (entrevista 1).
- Identificar el ambiente del dominio, describir conocimientos y procesos generales de la tarea del experto, obtener conocimiento necesario para determinar la factibilidad del proyecto y establecer los límites de dominio de aplicación (entrevista 2).
- Determinar la funcionalidad, objetivos y alcance del SE (entrevista 3).

Además en las primeras entrevistas se identificó la documentación que permitió familiarizarse con la terminología y conocer rápidamente el ambiente del dominio.

Esta tarea es necesaria para la fase de identificación y aporta información inicial necesaria para la adquisición del conocimiento de la fase de conceptualización.

La planificación de una entrevista de adquisición inicial del conocimiento se presenta en el cuadro 4.1.1.

**ENTREVISTA N° 1: Establecer compromiso con el experto médico**

Cuadro 4.1.1. Resumen de la planificación de la entrevista 1.

<b>Objetivo general</b>	Realizar una descripción general del problema a resolver y establecer un compromiso con experto médico en el desarrollo del SE.
<b>Objetivos específicos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dar a conocer que es IA y los sistemas expertos.</li> <li>• Establecer el compromiso y beneficios del experto médico en el desarrollo del SE.</li> <li>• Identificar las necesidades de los usuarios potenciales.</li> <li>• Determinar si la tarea del experto es tratable mediante la ingeniería de conocimiento.</li> <li>• Definir la agenda de futuras entrevistas (lugar, hora y posibles fechas).</li> <li>• Establecer documentación.</li> </ul>
<b>Técnica a utilizar</b>	<p>Entrevista no estructurada.</p> <p>Debido a que no se tiene conocimiento del dominio y se desconoce la terminología utilizada por el experto.</p>
<b>Material de apoyo</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Información sobre la definición de IA.</li> <li>• Información sobre la definición de SE.</li> </ul> <p>(Incluye: arquitectura, dominios y tareas de los SE)</p>
<b>Preguntas</b>	<p>Aunque la entrevista es no estructurada, es conveniente preparar algunas preguntas como base para que estas sirvan de guía durante la entrevista.</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. ¿Cuál es la tarea básica (actividades y procesos) que desarrolla el experto?</li> <li>2. ¿Cuáles de estas se pretenden automatizar?</li> <li>3. ¿Qué dificultades tiene la tarea?</li> <li>4. ¿Qué necesidades se pueden resolver?</li> <li>5. ¿En que áreas serviría de apoyo el sistema experto?</li> <li>6. ¿Cuál sería los posibles usuarios del SE? (Incluye: Instituciones y personas)</li> <li>7. ¿A que mercado podría estar dirigido?</li> <li>8. ¿Qué documentos nos recomienda para acelerar el proceso comprensión y adquisición del conocimiento?</li> </ol>
<b>Observación</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se debe de conocer el tema de manera amplia sin profundizar en ningún aspecto.</li> <li>• La entrevista no fue grabada por lo que no se reproduce en este documento.</li> </ul>

## 1.2.2 EXTRACCION ESTATICA DE CONOCIMIENTOS

La siguiente tarea es la lectura y análisis de la documentación existente. Por ejemplo: libros, revistas, sitios Web, etc. A partir de esta documentación se obtuvieron conocimientos generales sobre el dominio. Este dominio comprende información de diagnóstico, tratamiento y definición de enfermedades tropicales.

Esta tarea permitió asimilar la terminología. Además ha favorecido a la interrelación con el experto médico. La extracción estática de conocimiento se realizó en paralelo con las tareas 1 y 3.

La documentación debe ser proporcionada (en su mayoría) por el experto médico y obtenida por el ingeniero del conocimiento. La documentación inicial utilizada es la siguiente:

- **Libros:**

1. DIAGNOSTICO DIFERENCIAL EN MEDICINA INTERNA, Enero de 1998.
2. DICCIONARIO DE MEDICINA OCEANO MOSBY, 1996.
3. DICCIONARIO TERMINOLOGICO DE CIENCIAS MEDICAS, 1984.
4. PARASITOSIS HUMANAS, 1998.
5. PROPEDEUTICA MEDICA, 1988.

- **Normas, protocolos, manuales, programas:**

1. ASPECTOS GENERALES DEL PROGRAMA DE MALARIA, 1993.
2. CONSULTA TECNICA AL PROGRAMA DE CONTROL DE LA MALARIA EN EL SALVADOR, 20 –24 de julio de 1992.
3. LEISHMANIASIS EN EL SALVADOR, 1993.
4. MANUAL DE PROCEDIMIENTOS TECNICO ASMINISTRATIVOS PARA LA VIGILANCIA Y CONTROL DEL COLERA, 1991.
5. NORMA DE ATENCION DE CHAGAS, Mayo de 2002.
6. NORMA PARA LA ATENCION, CONTROL Y PREVENCION DEL DENGUE, Marzo de 2002.
7. PROTOCOLO PARA ATENCION INTEGRAL DE SALUD NIVEL, 1997.

- **Sitios Web:**

1. MINISTERIO DE SALUD PUBLICA Y ASISTENCIA SOCIAL,  
<http://www.mspas.gob.sv>
2. PROTOCOLO DIAGNOSTICO Y TERAPEUTICO 2000, PARA LA ENFERMEDAD DE CHAGAS.  
[http://www.geocities.com/hospital\\_zacamil/chagas.html](http://www.geocities.com/hospital_zacamil/chagas.html)

### 1.2.3 EXTRACCION DE CONOCIMIENTOS DEL EXPERTO MEDICO

La última tarea del proceso de adquisición fue obtener el conocimiento directamente del experto médico mediante entrevistas. Este se dividió en dos partes:

1. Extracción de conocimiento inicial (entrevistas 4 - 8).
2. Extracción de conocimiento profundo (entrevistas 9 - 13).

## 1. EXTRACCION DE CONOCIMIENTO INICIAL

Este paso sirvió para obtener una visión general del dominio, comprender el proceso de diagnóstico del experto y el proceso básico de diagnóstico de cada enfermedad.

Se presenta un segmento de la entrevista 7, como ejemplo de extracción de conocimiento inicial.

La simbología utilizada en la transcripción de las entrevistas es la siguiente:

- ( [ ] ) Corchetes.

Se utilizan para indicar un comentario del editor que permita hacer más claro el texto.

- ( “ “ ) Comillas:

Se utilizan para representar modismos, calificativos u otro tipo de palabras o frases que no se consideren técnicas pero que, de acuerdo al editor se consideran pertinentes mantener la claridad y fidelidad del contenido de la entrevista.

- ( ) Paréntesis.

Se utilizan para indicar comentarios, aclaraciones o acentuaciones.

- Identificación.

Se diferencian las intervenciones del experto médico y del ingeniero de conocimiento a través de las etiquetas [EM] y [IC] respectivamente.

Los nombre de las enfermedades relacionadas se resaltan en letra cursiva. De igual manera, se resaltan en cursiva los nombres de los agentes que producen las enfermedades.

Los casos hipotéticos abordados en la entrevista se indican a través del nombre de la enfermedad de la que se trate, para hacer más sencilla la comprensión. Además, por cada entrevista se han numerado las preguntas o comentarios hechos por los entrevistadores.

### ***ENTREVISTA N° 7: Diagnóstico de Leishmaniasis y Paludismo crónico***

*Cuadro 4.1.2. Resumen de la planificación de la entrevista 7.*

<b>Objetivo general</b>	Realizar la adquisición del conocimiento de Leishmaniasis.
<b>Objetivos específicos</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Conocer el proceso de diagnóstico diferencial de Leishmaniasis en sus dos formas: cutánea y visceral.</li></ul>
<b>Técnica a utilizar</b>	Entrevista no estructurada basada en la definición de los casos de las enfermedades a tratar.
<b>Material de apoyo</b>	(Ninguno)
<b>Preguntas</b>	(Ninguna)
<b>Observaciones</b>	(Ninguna)

### **Transcripción:**

#### **Caso Leishmaniasis cutánea**

[EM] Esta es la que se ve más comúnmente en el país, sobre todo en la zona de San Vicente, Cabañas y La Unión; que es donde se han reportado casos.

Cuadro clínico: supóngase que viene un paciente, un campesino de 35 años, de sexo masculino, pues es más común en hombres porque son los que salen a trabajar, y están más expuestos a los elementos. En el caso del campo, la mujer trabaja igual, pero es lo más común.

Esta persona viene con la historia de que tiene 3 meses de notar una roncha que la apareció en la mejilla, que ha ido creciendo lentamente hasta convertirse en una úlcera. El paciente está pálido, se ve delgado; dice que ha perdido peso.

El diagnóstico diferencial principal que hay que hacer, es con *Cáncer de piel*.

1. [IC] ¿La úlcera puede aparecer en cualquier lugar del cuerpo?  
[EM] Sobre todo en la región de la cara que es donde prefiere picar el jején. Puede ser en cualquier lugar, pero sobretodo en las partes expuestas a la picadura del insecto (esclerotomo).
2. [IC] ¿Es decir que el lugar de la úlcera es donde picó el insecto?  
[EM] Exactamente. Entonces, lo primero que vamos a hacer es dejar los exámenes generales. Un hemograma valdría siempre la pena tomarlo. Aquí el diagnóstico lo vamos a hacer por un raspado de la lesión, en donde se va a encontrar el parásito.
3. [IC] ¿Este es otro examen?  
[EM] Es un raspado de lesión. En el hemograma que les dije al principio, lo que usualmente van a encontrar es anemia. Pero para fines del flujograma que Uds. quieren hacer, no le pongamos raspado, sino biopsia de la lesión. Porque eso lo ve el *patólogo* y reconoce el parásito, la *leishmania*; sino, si es *Cáncer de piel* va a encontrar las *células malignas*.
4. [IC] ¿Cómo se identifica la anemia?  
[EM] La hemoglobina esta por debajo de 11, según los libros, es debajo de 12. Pero siendo realistas, en El Salvador, la dieta alimenticia (sobre todo en el campo), hace que los niveles de hemoglobina estén por debajo de los de otro país.
5. [IC] ¿Qué otra cosa podría ser si no fuera Leishmaniasis o *Cáncer de piel*?  
[EM] Hay otro tipo de hongos que pueden hacer eso. *Tinomicosis* pero son mucho más raras.
6. [IC] ¿Pero siempre con el primer cuadro?  
[EM] Sí. *Tinomicosis*, pero son mucho más raras. Por eso la más frecuente, y la que se tiene que empezar descartando es *Cáncer de piel*.
7. [IC] ¿Esa podría ser nuestra primera hipótesis, antes de Leishmaniasis?  
[EM] Exacto. Ahora el lío, sería que la evolución es diferente. En el *Cáncer de piel*, son de crecimiento más rápido, van aumentando constantemente. En cambio la Leishmaniasis es bien lento. Pero hay *cáncer* que son lentos también.
8. [IC] ¿Para esto, el doctor mantiene en observación al paciente, o lo pregunta?  
[EM] El doctor lo pregunta. Como dije al principio, el paciente tiene tres meses, es de crecimiento bien lento. Eso para un *Cáncer* no es muy compatible; pero no quiere decir que no pueda ser. Por eso es importante, que al ver Ud. esa lesión, debe de tomarle muestra. Y volvemos a preguntar, si hay vectores transmisores de la enfermedad donde ellos viven (jejenes, son los que transmiten la enfermedad).
9. [IC] ¿En caso de que Ud. sea una persona de la ciudad, esta expuesto al vector?  
[EM] Si.
10. [IC] Pero, ¿variaría en el caso de que yo dijera que vivo en la Escalón, y tengo una roncha igual?  
[EM] Se le haría el examen.
11. [IC] ¿Pero, porqué me inclinaría más; por Leishmaniasis o *Cáncer en la piel*?  
[EM] Las dos dan en áreas descubiertas. Porque le pega el sol y es lo que predispone al *Cáncer de piel*, y lo descubierto es donde pican los insectos transmisores. Eso es lo que complica un poco el diagnóstico.
12. [IC] ¿Supongamos que la úlcera es en una zona no descubierta?  
[EM] Es difícil, porque el insecto tiene que picar allí. Y el *Cáncer de piel* en zonas cubiertas, de los dos principales que son el *espinoceular* y *basocelular*, son muy raros. Siempre son en áreas descubiertas; en la cara, en los brazos.

13. [IC] ¿Pero la picada del jején puede ser en el cuerpo?  
[EM] Donde esté descubierto, igual que el mosquito. En las piernas, brazos, en la cara, etc.
14. [IC] ¿Cuándo ha tratado la enfermedad donde es más común que aparezcan las lesiones?  
[EM] En la cara.
15. [IC] El sistema podría mostrar imágenes de las lesiones.  
[EM] Sí, estaría bien.
16. [IC] ¿Una vez que ya hemos hecho la biopsia, y observamos la *leishmania*, ya es seguro el diagnóstico?  
[EM] Sí. Ahí ya no hay confusión, el diagnóstico termina. Es importante que Ud. le insista al médico que haga la biopsia tempranamente, en lugar de que se meta a darle pomadas o pastillas, creyendo que con eso se le quita. Porque ese tiempo que pierde es precioso.
17. [IC] ¿Cuánto tarda una biopsia?  
[EM] Un buen patólogo no más de 3 días. Pero el problema a veces en los hospitales, es que como es una carga de trabajo bien grande, eso lo dificulta. Puede durar hasta un mes. Pero cuando hay un diagnóstico sospechoso, así como *Cáncer* le dan prioridad a ese examen.
18. [IC] Con respecto al resultado de la anemia, con la hemoglobina por debajo de 11, ese era para decir que era cáncer. ¿Sale en el Hemograma?  
[EM] Sí, incluso el cáncer puede cursar con anemia, pero lo que le va a dar la certeza en el diagnóstico son los hallazgos en la biopsia.
19. [IC] ¿Pero antes de eso solo tenemos los resultados del hemograma?  
[EM] Solo el hemograma, y tiene anemia, ya da una línea de la sospecha. Puede ser *Cáncer*, pero también la *leishmania* da anemia.
20. [IC] ¿Es más probable?  
[EM] Sí, es más probable
21. [IC] ¿Otro dato que nos puede guiar a la sospecha?  
[EM] Exámenes de laboratorio, quizás solo esos. Cuando la *leishmania* se va para adentro, si dan un montón de datos. Pero aquí en el país no se han visto más que 1 o 2 casos. Pero son extremadamente raros. Bueno, no se buscan en realidad.
22. [IC] ¿Alguna otra forma, o signo que se debería buscar?  
[EM] Sí. Hay una particularidad en la forma de la roncha, porque el fondo es sucio, y el borde es elevado; es como un sacabocado.
23. [IC] ¿Se vería como un cráter?  
[EM] Sí. Es prácticamente un cráter. En lenguaje más técnico sería una úlcera de bordes elevados, y fondo sucio.
24. [IC] ¿Al ver ese tipo de úlcera, nos inclinamos a que pueda ser Leishmaniasis?  
[EM] Es más probable que sea Leishmaniasis que *Cáncer*.
25. [IC] ¿Cómo es la úlcera del cáncer?  
[EM] Los bordes, no siempre son tan definidos, son irregulares. Y casi siempre van a ver que las orillas están enrojecida. Muchas veces está inflamado.
26. [IC] ¿Qué otro síntoma podría tener la Leishmaniasis?  
[EM] Son los anteriores, como son locales, no hay otra cosa generalizada. Hay una situación que es bien interesante en la Leishmaniasis, es que cuando tiene mucho tiempo la lesión, son bien destructivas. Van a ver que a la persona le puede faltar la mitad de la nariz, o tiene un hoyo. O se ha comido la mitad del pabellón de la oreja; la úlcera.  
  
En Guatemala, le llaman úlcera de los chicleros. Los chicleros, son la gente que anda en la selva, abriendo los árboles de donde sacan el látex o la goma.

27. [IC] ¿En el caso del *Cáncer*, la úlcera empieza con una roncha?

[EM] Puede comenzar así. Una de las cosas que se recomienda cuando uno busca *Cáncer*, es cualquier lunar que cambie de color o de tamaño, eso puede ser *Cáncer*.

28. [IC] ¿La llaga puede surgir de un lunar?

[EM] Podría ser. Si Ud. le pregunta al paciente que si no ha tenía un lunar allí, y si él le dice que sí, casi siempre es *Cáncer*, 99%. Si no tenía nada también podría ser *Cáncer*, pero aleja un poquito la probabilidad, pero de todas maneras es mejor tomar la biopsia. Y hasta que no tenga la biopsia, no voy a poder decirle qué es lo que le pasa.

Importa mucho también preguntarle a la persona de qué trabaja. Porque si la persona les dice que trabaja en una oficina, y nunca veo la luz del sol, también podría ser *cáncer*, pero la posibilidad va disminuyendo. Sobre todo en personas de piel blanca, y que están expuestas a la luz del sol, tiene más probabilidades.

29. [IC] Si un lunar cambia de tamaño y de color. ¿Hay probabilidad de que no sea *Cáncer*?

[EM] Es muy difícil.

### **Leishmaniasis visceral**

30. [IC] ¿En el caso de la visceral, es adentro, no hay síntoma externo?

[EM] En el caso de la visceral, lo que se da es anemia profunda, al paciente muchas veces le van a encontrar el bazo de un tamaño bastante grande (exageradamente grande).

31. [IC] ¿Este tipo no es muy común?

[EM] No. No se han visto muchos casos. Pero no es que no existan, no se han reportado porque no se buscan.

32. [IC] ¿Un cuadro típico de Leishmaniasis visceral?

[EM] Paciente de 20 años. Con tres meses de pérdida de peso, palidez progresiva. Estado febril, por días, una fiebre intermitente; que no es intensa.

Uds. Le hacen todos los exámenes y no encuentran evidencia de nada, excepto la anemia. Y las proteínas séricas bien bajas.

33. [IC] ¿Eso sería en el hemograma?

[EM] En el hemograma se identifica la anemia, y se le mandan proteínas séricas que casi siempre están bajas.

34. [IC] ¿Es un examen aparte el de proteínas séricas?

[EM] Sí.

35. [IC] ¿La fiebre intermitente, es desde que empezaron estos tres meses o hace unas cuantas semanas?

[EM] Casi siempre empiezan a la par. La situación es que son pacientes que tienen meses padeciendo eso, como no es una cosa aparatosa, sino un cuadro tórpido; muchas veces la gente no le da importancia, se pasa automedicando y piensa que con eso basta.

36. [IC] ¿Un dato curioso es que también empieza con 3 meses?

[EM] Pueden ser también 4 meses.

37. [IC] ¿Lo más común es que lleguen a los 3 meses?

[EM] Ese dato es muy variable. Puede ser tan largo como 4 meses, son 120 días el período de incubación.

38. [IC] ¿Y el aumento del tamaño del bazo, se da desde el inicio también?

[EM] Es gradual. Lo que llama la atención del examen físico es eso, el aumento del bazo que llega a un tamaño que pocas enfermedades logran hacer eso. Son de los récord. La única enfermedad no infecciosa que logra un tamaño mayor o similar es la *Leucemia mieloide crónica*. Y la historia se parece también; fiebre, pérdida de peso, anemia.



39. [IC] En el caso de la anemia profunda, ¿qué es anemia profunda, a partir de qué?  
[EM] El término profundo, lo utilizo solo para referirme algo severo.
40. [IC] ¿Si estamos hablando de que la hemoglobina esta por debajo de 11, hasta donde estaría la hemoglobina para decir que es una anemia profunda?  
[EM] Por debajo de 9, es una anemia bastante severa. Ya no es de verlo tan a la ligera el cuadro.
41. [IC] ¿En ese caso, siempre suele suceder que anda por debajo de 9?  
[EM] Sí. Ellos tienen una hemoglobina de 4 o 5.
42. [IC] ¿Los primeros exámenes que dijo son el hemograma y el otro era...?  
[EM] Proteínas séricas.
43. [IC] ¿Se mandarían a hacer los tres: el hemograma, el general de orina y gota gruesa?  
[EM] Para casi todas las enfermedades, esos tres le cubren un montón de cosas. Como acuérdesse que ningún examen le da diagnóstico, solo le confirman.
44. [IC] ¿Pero en este caso podríamos obviar ese y pedir, bajo sospecha de Leishmaniasis visceral, mandar a hacer solamente el hemograma o siempre mandamos a hacer los tres?  
[EM] Con eso Ud. solo acerca el diagnóstico, pero el diagnóstico certero en Leishmaniasis visceral es más difícil, porque ahí ya se habla de cultivos: hemocultivos, mielocultivos; ya es más difícil.
45. [IC] ¿El de proteínas séricas que me tiene que dar?  
[EM] En el de proteínas séricas, se mira la albúmina. La albúmina normal, está entre 3.5 y 5.5. Imagínese que hay una albúmina de 1 o 2, ya estamos hablando de esos casos.
46. [IC] ¿Podría confundirse los síntomas de fiebre intermitente y aumento del bazo, con *Paludismo*?  
[EM] Podría ser también, *Paludismo crónico*.
47. [IC] ¿El *Paludismo* tiene varias etapas?  
[EM] Lo que pasa es que hay un tipo de *plasmodium*, que deja formas en el hígado que se llaman inozoitos. Entonces, Ud. le puede dar tratamiento y el paludismo cede; pero si tiene ese *plasmodium*, esas formas se enquistan en el hígado y se quedan ahí por tiempo indefinido. De pronto se vuelven a activar y vuelve el cuadro de *paludismo*. Puede estar volviendo poco a poco, así como en este caso. Podría confundirse. Por eso el tratamiento cuando se da este tipo de *plasmodium* es con dos medicamentos: uno que mata las formas que andan en sangre, y otro las formas que están guardadas en hígado. Es más difícil.
48. [IC] Lo que acercaría más al diagnóstico es el resultado de los exámenes. ¿Antes de mandar a hacer los exámenes, que otros signos podrían llevarnos a pensar que sería Leishmaniasis visceral?  
[EM] Hay otros, pero no son tan específicos porque pueden aparecer en otras cosas. Por ejemplo, en las niñas el ciclo menstrual se altera totalmente, o sangran mucho, o dejan de sangrar. Se le cae el pelo, por la misma desnutrición, el paciente comienza a consumirse.
49. [IC] ¿La pérdida de cabello y la alteración del ciclo menstrual, se debe más al síntoma de desnutrición?, no lo causa en sí el parásito.  
[EM] Exacto. Se supone que el parásito y el paciente llegan a un momento en que llegan a una convivencia. La enfermedad se presenta en el lado en el que se incline la balanza; es decir si al lado del paciente, o al lado del parásito. Es una de las teorías que se tienen.
50. [IC] ¿Entonces, el paciente puede vivir con *leishmania* de este tipo?  
[EM] Sí, si su sistema inmunológico lo mantiene. Por eso los cuadros son tan crónicos, porque pueden pasar hasta meses. Pero en estos países donde hay desnutrición no se puede hacer tan fácil.
51. [IC] ¿En niños pequeños, serían los mismos síntomas?  
[EM] Los mismos. Pero en los niños lo que hay es un retardo en el crecimiento y el desarrollo.

52. [IC] Si tenemos, que la albúmina está entre 2 y 3, que en el hemograma tenemos hemoglobina muy baja de 4 o 5...
- [EM] Ya eso le está dando una fuerte evidencia de Leishmaniasis visceral. Cuando Ud. le termina de preguntar lo que siente, lo siguiente es hacer el examen físico. En muchos lugares, lo que uno termina haciendo por cuestiones de tiempo, es que esta examinando y preguntando al mismo tiempo.
53. [IC] Para identificar diferencias, ¿con *Paludismo* se pueden pasar meses con fiebre (1 mes)?
- [EM] Sí, también.
54. [IC] ¿Pero intermitentes, o lo mismo que en este caso?
- [EM] Puede ser igual, pero lo que le da el diagnóstico es la gota gruesa.
55. [IC] ¿No tendría que dar *plasmodium*? ¿Pueden darse las dos?
- [EM] Si, no son excluyentes. El jején y el zancudo viven en el mismo hábitat, las mismas condiciones socioeconómicas de la gente. Eso me llamó la atención, cuando estaba en el postgrado de Brasil, que los profesores nos llevaban a ver los pacientes por Leishmaniasis una semana, *Filariasis* otra semana, *Malaria* otra semana, y siempre íbamos a las mismas comunidades.
56. [IC] ¿Leishmaniasis y Filariasis se parecen?
- [EM] La *filaria* son parásitos que transmite otro insecto, y ese viaja a través de la sangre, y se mete en el tejido linfático, obstruye y empieza a crecer el tejido o miembro; y es a lo que se le llama elefantiasis.
57. [IC] ¿Se dan esos casos en el país?
- [EM] Pues yo ví dos casos en Soyapango, por cierto. Pero no se les dio seguimiento
58. [IC] ¿Esta entre las enfermedades tropicales?
- [EM] Sí. Pero aquí no se han descrito casos (formalmente). En Guatemala hay.
59. [IC] ¿Un paciente con *Paludismo* no podría pasar los 3 meses con fiebre?
- [EM] Lo que pasa es que son cuadros crónicos, como esas formas hepáticas que se van liberando poco a poco. Y se puede pasar un montón de tiempo con fiebre.
60. [IC] ¿Qué probabilidad habría de que un paciente tuviera las dos enfermedades?, ¿qué tan común es?
- [EM] Datos estadísticos no hay, por lo menos aquí en el país. En la literatura, no está descrito. Pero por lógica, las dos cosas pueden convivir perfectamente; y volvemos a lo mismo, si Ud. analiza el hábitat de los dos insectos que transmiten las enfermedades: humedad, abundancia de vegetación, etc. Es el mismo.
61. [IC] ¿Cuánto dura el examen de proteínas séricas?
- [EM] En un laboratorio, en una hora.
62. [IC] ¿Qué otro tipo de cultivo se podría hacer, *melanoma* por ejemplo?
- [EM] El melanoma, es uno de los cánceres más agresivos que hay. Con el melanoma la lesión o lunar puede ser muy pequeño, y eso puede haber afectado varios órganos del paciente causándole la muerte. Esto, en cuestión de un mes. Eso es muy rápido. En dermatología la máxima emergencia que se tiene es el melanoma.
63. [IC] ¿En este caso lo único que se podría decir es que es *Cáncer* y que se investigue por aparte?
- [EM] Pero esto es a partir de la biopsia. En el cáncer de piel, la misma biopsia le confirma. Con la biopsia esta descartando un montón de cosas.
64. [IC] ¿Otro examen que se debería hacer?
- [EM] Hay exámenes que ya son específicos para identificar el parásito. Hay pruebas que son en la piel, otras que miden anticuerpos, hay cultivos de médula ósea.
65. [IC] ¿Para Leishmaniasis visceral cuales serian?
- [EM] Mielocultivos (material de médula ósea), algunos indican hasta tomar una biopsia de bazo. Pero eso es mucho más invasivo.

66. [IC] ¿Invasivo quiere decir que se daña mucho más al paciente?  
[EM] Se puede dañar más al paciente, que el beneficio. Son procedimientos que si se hacen deben ser justificados por una razón de peso. En medicina se trabaja bajo el concepto de riesgo-beneficio. Si realmente voy a tener más beneficio exponiendo al paciente al riesgo de hacerlo.
67. [IC] ¿Cuál es la respuesta del mielocultivo?  
[EM] Sale la *leishmania donovani*. Hay diversos tipos. La *mejicana* es la que más se ha reportado.
68. [IC] ¿Cuánto tarda el mielocultivo?  
[EM] Una semana casi siempre. Eso es bien variable.
69. [IC] ¿El cultivo del bazo, en que caso sería realmente necesario hacerlo?  
[EM] Cuando Ud. a toda costa quiere saber con certeza que el paciente tiene esa leishmaniasis, y ya descartó todas las posibilidades. Y el mielocultivo no dijo nada, esa es otra posibilidad. Porque entre tomarle cultivo de médula ósea y cultivo de bazo, yo me quedo con el de médula ósea.
70. [IC] ¿Cuándo es realmente necesario hacer el cultivo del bazo, que ha sucedido con el parásito?  
[EM] Estos no son parásitos que andan en la sangre eternamente. Son parásitos igual que el de *Chagas*; que tiene una fase en la que circulan, y luego se meten en los tejidos que ellos quieren. Por eso es que en *Chagas* por ejemplo, Ud. toma en la fase aguda gota gruesa, y si el paciente tiene la enfermedad, se va a ver el parásito, que son los *trypansomas*. Pero si no ya pasó la fase.
71. [IC] ¿Aquí depende entonces, en que fase se encuentre la Leishmaniasis?  
[EM] Exacto.
72. [IC] ¿Cuándo hacemos lo del cultivo del bazo, es que está en la peor fase?  
[EM] Así es. Ya en la fase crónica, que es cuando el paciente presenta un montón de complicaciones. Lo puede matar la misma anemia que tiene.
73. [IC] ¿Todavía se puede salvar el paciente?  
[EM] Sí, todavía se puede salvar. Se le da el tratamiento con un antibiótico especial, que se llama *glucantine*, que es *estiboglucanato sódico*.

## 2. EXTRACCION DE CONOCIMIENTO PROFUNDO

Después de comprender el conocimiento general del problema, se realizó un proceso de investigación (a partir de la lectura de la documentación). Se profundizó en el conocimiento adquirido, verificando los procesos de razonamiento del experto médico (diagnóstico de cada una de las enfermedades) y realizando aclaraciones de conceptos (ambigüedades, atributos, valores, etc.).

Se presenta el siguiente segmento de la entrevista 9, como ejemplo de extracción de conocimiento profundo, donde se verifican procesos de diagnóstico diferencial y aclaran algunos conceptos:

### **ENTREVISTA N° 9: Verificación de diagnóstico diferencial**

Cuadro 4.1.3. Resumen de la planificación de la entrevista 9.

<b>Objetivo general</b>	Afinar el conocimiento adquirido a través del análisis de cada una de las enfermedades con el resto de enfermedades con las que hay que realizar diagnóstico diferencial (conocimiento conexo).
<b>Objetivos específicos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Confirmar claves diagnósticas, signos, síntomas y valores de exámenes adquiridos en las entrevistas anteriores.</li> <li>• Conocer claves diagnósticas, signos, síntomas y valores de exámenes de enfermedades con las que hay que realizar diagnóstico diferencial no abordadas en las entrevistas anteriores (conocimiento conexo).</li> </ul>
<b>Técnica a utilizar</b>	Entrevista con una estructura básica, basada en una pregunta.
<b>Material de apoyo</b>	<p>Documento donde se muestra la relación entre enfermedades tropicales en estudio y otras enfermedades con las que hay que hacer diagnóstico diferencial. Por ejemplo:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• FIEBRE TIFOIDEA                      Diagnóstico con enfermedades febriles: paludismo, dengue, etc.</li> <li>• DENGUE (Serotipos 1,2,3 y4, familia flaviviridae)                      Enfermedades febriles: influenza, paludismo, fiebre tifoidea, leptospirosis, sepsis bacteriana, monocucleosis infecciosa, meningococcemia, rubéola, sarampión, fiebres hemorrágicas (ej.: hanta)</li> </ul>
<b>Preguntas</b>	1. ¿Podría comentar la relación entre las enfermedades que aparecen relacionadas con las enfermedades tropicales que hemos estado estudiando?.
<b>Observación</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La entrevista mantiene un esquema muy flexible, de donde surgen preguntas no planeadas.</li> <li>• En esta entrevista se da inicio a la verificación del conocimiento.</li> </ul>

## Trascripción:

1. [IC] Tomando como base los datos que recogimos de las entrevistas anteriores y alguna documentación de los libros, hemos hecho una relación entre una enfermedad y otras con las que puede complicarse el diagnóstico diferencial.
2. [IC] De acuerdo a esa clasificación. ¿Cuáles son las claves diagnósticas que nos ayudan a diferenciar una enfermedad de la otra?  
[EM] Yendo en el orden que Ud. me ha entregado:  
Diagnóstico diferencial de Fiebre tifoidea. Con *Paludismo* se va diferenciar en primer lugar porque la fiebre [del *Paludismo*] es cada tres o cuatro días, es decir que hay un día de fiebre dos o tres sin fiebre y después vuelve a aparecer. Además de eso, la fiebre del *Paludismo* va con taquicardia, en cambio la tifoidea casi siempre, la fiebre ocurre pero el corazón no late más rápido aunque halla fiebre, eso es lo que se llama bradicardia relativa.  
Con el *Dengue*, la diferencia con tifoidea es casi siempre que hay dolor que el paciente refiere como detrás de los ojos (dolor retrocular), pueden haber hemorragias en las encías y la nariz, las plaquetas pueden bajar de su número normal (de 150,000 a 250,000) y lo otro es que al investigar los antecedentes epidemiológicos, en el *Dengue* siempre hay historia de zancudos, en la tifoidea prácticamente no los hay. La otra diferencia es que la fiebre que produce la Fiebre tifoidea son de larga evolución (dos semanas, diez días), en cambio el *Dengue* son periodos cortos (5 días de fiebre).
3. [IC] ¿En que casos puede ser muy difícil diferenciar estas enfermedades en función de que el paciente llegue, por ejemplo, al segundo día de fiebre y que los síntomas no se han manifestado por completo?  
[EM] No es tan fácil, porque los pacientes para las tres enfermedades llegan con fiebre. Por eso es que hay que empezar a hacer las preguntas claves ¿cuánto tiempo lleva la fiebre?, tomarle el pulso y ver si corresponde a un pulso acelerado con fiebre (que es lo que uno espera) sino lo más seguro es que sea tifoidea, la historia epidemiológica para ver si hay zancudos en la casa, etc.
4. [IC] Por lo que ha dicho, la diferencia entre *Paludismo* y tifoidea es el pulso acelerado. ¿Ese síntoma viene junto con la fiebre?  
[EM] Si. La temperatura normal es de 37 °C y por cada grado que el cuerpo sube de temperatura, el corazón está supuesto a aumentar la frecuencia cardiaca en 10 latidos por minuto, de 10 en 10 según grados que va subiendo, pero supóngase que tiene 40 grados de temperatura y el paciente no pasa de 80 latidos por minuto (valor normal), eso se llama bradicardia relativa. Lo más seguro es tifoidea. ¡Lo más seguro!  
Diagnóstico diferencial de Dengue. Con la *Leptospirosis*. Esta tiene otras características, la primera de ellas es que en muchos casos el paciente cursa con ictericia (hay una coloración amarilla de la piel por acumulo de bilirrubina) y otro síntoma bien específico de la *Leptospirosis* es dolor en "pantorrillas", el paciente dice: "me duelen las pantorrillas", siento que se me rompe algo haya dentro", eso casi siempre es *leptospira* y otra vez la historia epidemiológica para ver si tiene contacto con agua contaminada con orines de ratas.
5. [IC] ¿El dolor en las "pantorrillas" aparece al mismo tiempo que la fiebre?  
[EM] Si.
6. [IC] ¿El periodo de evolución de la fiebre también puede ser un indicador?  
[EM] Si, siempre influye. También son fiebres crónicas (de larga evolución). Eso no significa que si alguien tiene dos días de fiebre no puede ser alguna de estas enfermedades, pero lo usual es que aquí en nuestro país la gente consulta hasta que ya no aguantan, ya se tomaron todos los montes habidos y por haber en sus casas y no mejoró, llegan complicados. Ese margen (que llegan con mucho tiempo de evolución) ya a uno lo deja pensar, si tiene 15 días de fiebre esto suena a tifoidea, si tiene 5 días de fiebre y está agudo puede ser Dengue, le hago la prueba de lazo con el tensiómetro y si es positivo es bastante probable que sea Dengue.

7. [IC] Hay otras enfermedades que están en el documento que me gustaría que comentara.

[EM] Sepsis bacteriana no es una enfermedad, es un síndrome. Es dado por muchas cosas, la tifoidea es una Sepsis, son bacterias en la sangre, cualquier microbio puede dar eso y son iguales (procesos febriles).

*Mononucleosis infecciosa*. Es producida por un virus, el virus de Eistenbag, la característica es que el bazo crece bastante de tamaño y se encuentran abundantes ganglios linfáticos alrededor del cuello (ganglios cervicales).

Los ganglios cervicales son unas "pelotitas" que se sienten en el cuello que son ganglios linfáticos que han aumentado de tamaño por la presencia del virus. ¿Cómo lo diagnostica?, toma un examen que se llama anticuerpos eterófilos que se hace con glóbulos rojos de carnero (de sangre), se hace un proceso inmunológico y por acciones de antígenos anticuerpos se forman unas como rosas, es decir, los glóbulos rojos hacen como brumitos. Esa es la reacción que hace positivo la prueba de anticuerpos eterófilos.

*Meningococemia*. Eso se sale de todo esto, porque hablar de meningococo es hablar casi siempre de una infección en las meninges, entonces el paciente ahí llega febril, con trastornos del estado de conciencia, vómitos en proyectil, rigidez de cuello: un cuadro de meningitis. Es bien diferente al otro, entonces uno lo ve y dice "Usted tiene *Meningitis*".

8. [IC] ¿Es muy fácil determinar esa diferencia?.

[EM] Por lo menos la posibilidad diagnóstica, porque en el examen físico Ud. le hace una prueba que se llama reflejo de Babinsky, le pone el pie al paciente así [persona sentada con la pierna estirada apoyando el pie con el talón sobre una superficie plana, dejando la planta del pie al descubierto] y lo estimula de esta forma [rozar la planta del pie de forma suave y medianamente lenta], la reacción normal es esto [contraer los dedos de los pies]. Si el paciente tiene infección en las meninges, los dedos se extienden y el pie se hace para atrás. O se puede hacer otro signo en el que Usted trata de doblar el cuello del paciente y va ver que va doblar la rodilla.

El diagnóstico se hace a través de una punción lumbar y el liquido lo manda en al laboratorio y al verlo en microscopio ahí están las bacterias *meningococo gram negativos* extracelulares, esos son meningococémicos. Ahora, *Meningococemia* ya se refiere a la circulación del parásito en la sangre y ahí el paciente se llena de hemorragias en la piel y se muere porque destruye las glándulas suprarenales, eso se llama síndrome de Waterhouse frayreshen y el paciente entra en un shock irreversible y se va.

Me pregunta por *Rubeola* y el *Sarampión*. Son de las exantemáticas febriles, tienen pequeñas diferencias. La *Rubeola* es un rash rojo que aparece en tronco y que además aparecen múltiples ganglios linfáticos en el cuello y retrorriculares (detrás de la oreja). El *Sarampión* es un rash oscuro, muchas veces hay tos y hay irritación visual ante la luz (fotofobia).

Otras fiebres hemorragias. El principal síntoma es la hemorragia a la par de la fiebre, ejemplo: *Hanta virus*, que también se transmiten por orines de ratas. En Argentina se han visto casos mortales. La manera más fácil de agarrarlo en nuestro medio es que Ud. consuma sodas o jugos enlatados y no lave la tapadera, porque en los supermercados las ratas andan por todos lados, igual es la *leptospirosis*. Hay otras virosis como *Ebola*, *Márbol*, etc., que son mortales.

9. [IC] Me llama la atención el caso de la *Rubeola* porque me decía que aparecen rash rojos en el área del tronco, eso lo hace muy similar al dengue.

[EM] Si. Pero el Dengue no tiende a dar adenopatías en el cuello, es muy raro, pero si las puede dar. Lo otro es que la prueba de lazo no tendría que salir positivo en *Rubeola* y en el Dengue sí. Las plaquetas no las afecta tanto la *Rubeola* como el otro.

10. [IC] Me pareció también que con el *Sarampión* había una similitud en los rash.

[EM] Si, pero son más oscuros.

11. [IC] ¿Y son en la misma zona?

[EM] Si, tronco y se extiende a extremidades.

12. [IC] Continuando con las enfermedades. El Paludismo que aunque ya está comentada su relación con las enfermedades anteriores, hay otras enfermedades que aparecen relacionadas.
- [EM] *Leishmaniasis visceral*. Es de las que dan bazo más grandes. Llama también la atención la anemia profunda en que puede estar el paciente, la disminución de la albúmina sérica: hipoalbuminemia (por debajo de 3.5 gramos por decilitro).
13. [IC] Siendo la anemia la principal clave diagnóstica que podemos identificar. ¿Aparece en un momento que nos permite decir que por su presencia se trata *Leishmaniasis visceral*?
- [EM] No. La *leishmania* tiene otra cosa, son cuadros crónicos (de meses de evolución), no son cuadros de una semana, por lo que no es tan fácil pensar que se trata de *Leishmaniasis visceral*.
14. [IC] ¿Es decir que por lo general la persona llega cuando ya tiene un buen periodo de evolución?
- [EM] De que le dan fiebre, que pierde peso, que se ha puesto pálido.
15. [IC] ¿Cómo son las fiebres?
- [EM] Son leves, no son tan intensas y son bien recurrentes. Por eso es que la gente no le da la importancia y cuando vienen a sentir ya están bien avanzados.
16. [IC] ¿Podemos comentar la *Hepatitis*?
- [EM] La *Hepatitis* cursa con ictericia, es lo primero. Y hay coluria que por exceso de bilirrubina se empieza a botar por la orina. La gente lo describe: "orino como que es coca cola" o "como que es Kolashampan". Y las heces, como normalmente por ahí van excretados los pigmentos que es lo que le da la coloración de las heces, dejan de tenerlos y aparecen las heces blancas, eso se llama acolia.
17. [IC] Haciendo la relación entre Paludismo y *Hepatitis*. ¿Puede haber un momento que un paciente no que presente coluria, acolia e ictericia?
- [EM] Si puede pasar. Ahora que hay más fluidez de la información y que las unidades de salud han mejorado mucho. La gente llega por ictericia ocular y le dicen: "mire vengo porque me veo los ojos amarillos". El siguiente paso es identificar que tipo es, porque de eso depende el tratamiento.
18. [IC] Se me ocurre formularlo así: La clave diagnostica [de *hepatitis*] que podríamos diferenciar es la ictericia en los ojos en primer lugar.
- [EM] Si, en los ojos se ve primero. Pero si decimos ictericia, se sobreentiende que puede haber en cualquier lado.
19. [IC] ¿El síntoma aparece en los primeros días de la enfermedad?
- [EM] Comienza casi al principio y es directamente proporcional al daño del hígado. Puede llegar a valores altos de bilirrubina, ya con 2 de bilirrubina ya uno comienza a ver ictericia o con 3 de bilirrubina. Yo he visto gente que llega con 20, que ya no se ven amarillos sino que verdes y llegan con prurito: picazón en la piel por exceso de bilirrubina.
- [Continuando con la lista] *Absceso hepático*. Las características son la fiebre, el hígado aumentado de tamaño y lo otro que llama la atención es que cuando Ud. hace percusión en el hígado hace esto [golpe leve en la zona del hígado utilizando una mano extendida para amortiguar el golpe], le duele y Ud. toma una ultra y ahí está el absceso.
20. [IC] ¿Qué es el absceso?
- [EM] Es un área que está delimitada por un tejido que se destruyó por una infección (por la reacción inflamatoria) y se acumula pus. En el caso del hígado lo más común son *abscesos amebianos*, hay *abscesos piógenos* también por bacterias, pero son más comunes los amebianos.
21. [IC] Y eso ¿a causa de que se da?
- [EM] Amebas. Las amebas pueden emigrar ahí y pueden causar ese problema.
22. [IC] ¿El caso de la *Tuberculosis*?
- [EM] Este es uno de los problemas de diagnóstico más grandes porque se le conoce como "la gran simuladora" igual que Sífilis. Puede simular cualquier cosa, no hay nada característico en *Tuberculosis*. Lo que si debe tenerse en cuenta es que a un paciente tose más de dos semanas hay que hacerle examen de flema (una baciloscopía), porque es bien probable que sea *Tuberculosis*. Y así va hacer Ud.

el diagnóstico. El lio que ocurre en El Salvador con la Tuberculosis y en muchos otros países igual que el nuestro, es que casi siempre va de la mano con el SIDA. Paciente joven que le encuentran Tuberculosis hay que mandarle VIH, y muchas veces es SIDA; por eso le dio la *Tuberculosis*, porque estaban predispuestos.

23. [IC] Me llama la atención que le llaman “la gran simuladora”...

[EM] Puede haber alguien con tos y fiebre, también puede haber alguien solo con tos o alguien que no tiene nada, solo pierde peso o que no siente nada y tiene *Tuberculosis*.

24. [IC] ¿Entonces la relación se hace entre *Tuberculosis* y Paludismo porque puede manifestarse de la misma forma?

[EM] Talvez solamente porque halla fiebre. El paciente con *Tuberculosis* la queja que tiene muchas veces es que tiene sudoración nocturna, tos de larga evolución, pierde peso y de pronto aparece sangre en la flema, en el esputo, así se llama hemoptisis.

25. [IC] ¿La clave diagnóstica en este caso seria la tos?

[EM] Tos crónica. Hay que considerarse que tiene que haber hemoptisis. Hay muchos pacientes que no tienen hemoptisis y tienen las grandes cadenas tuberculosas ahí.

Luego sigue *Fiebre amarilla*. Aquí en el país no hay (no se han descrito casos). Es una infección viral, un flavivirus, transmitido igual por el mosquito, hay ictericia generalizada y muchas veces se acompaña también de insuficiencia hepática y trastornos del estado de la conciencia.

Fiebre recurrente no es diagnóstico, se entiende como una fiebre que viene y va, a no ser que se refiera a la *Brucelosis* que es la fiebre ondulante.

*Pielonefritis* es una infección de riñones. En *Pielonefritis* hay fiebre, muchas veces dolor lumbar, que no siempre es la regla; vómitos, escalofríos. Ud. manda un general de orina y le salen leucocitos incontables y si manda un cultivo le salen las bacterias, puede ser la *chelicha coli* que es la más común de todas.

La *Brucelosis* es una fiebre ondulante de larga evolución y lo más importante en estos casos es el antecedente epidemiológico de contacto con ganado, porque es una zoonosis (una enfermedad de animales que da en el ser humano).



## 2. ENUNCIACION DE CONCEPTOS

La enunciación de conceptos es el primer paso para el desarrollo de un marco de conocimiento inicial del dominio. Permite al IC aproximarse al modelo conceptual que utiliza el experto médico en la resolución del problema.

El objetivo del proceso de enunciación fue realizar una identificación de los diferentes conceptos obtenidos en la tarea de adquisición de conocimiento (entrevistas y documentación), para su posterior categorización y clasificación.

Además en el proceso de enunciación se dividieron los conceptos en un **glosario de términos y diccionario de conceptos**. Estos fueron modificados durante el proceso de conceptualización y en las siguientes etapas del proyecto.

### 2.1 GLOSARIO DE TERMINOS

El glosario de términos permite al IC familiarizarse con la terminología utilizada por el experto médico dentro del dominio de aplicación. También reducir las ambigüedades al interpretar estos conceptos.

También el glosario de términos debe permitir al IC:

- Profundizar en aquellos términos que producen confusiones.
- Realizar con mayor precisión la adquisición de conocimiento.
- Validar el modelo conceptual del dominio durante la conceptualización.

El documento del *glosario de términos* se presenta en el documento *GLOSARIO DE TERMINOS MEDICOS*, que se encuentra en el CD-ROM.

## 2.2 DICCIONARIO DE CONCEPTOS

El diccionario contiene los conceptos que serán parametrizados y posteriormente formarán parte del modelo de conocimiento final del experto médico.

El diccionario de conceptos esta compuesto por aquellos términos utilizados con mayor frecuencia por el experto médico, en donde cada concepto contiene una breve descripción de su utilidad o funcionalidad, su definición y un ejemplo (de ser necesario).

Además, los términos en el diccionario se clasificaron en **conceptos primarios, secundarios y vinculantes** para especificar la importancia de estos dentro del modelo inicial de conocimiento del experto médico.

Para aclarar como se obtuvieron los conceptos del diccionario, se presenta el siguiente ejemplo donde se enuncia el concepto *síntoma*:

Cuadro 4.2.1. Segmento de la entrevista 11 y su análisis para la enunciación del concepto *síntoma*.

ENTREVISTA	Nº 11: Verificación de conceptos
SEGMENTO DE LA ENTREVISTA	<p>PREGUNTA 1. [IC]:                      Nosotros hemos tratado de diferenciar un tipo de síntoma, al que le llamamos síntoma primario, que va servir para que el usuario (un médico) piense hacer la consulta con el sistema, es decir, el síntoma por el que se puede saber que para hacer el diagnóstico se puede utilizar el sistema...</p> <p>RESPUESTA [EM]:                      Para empezar, no hay que confundir signo con síntoma. Síntoma es un dato que el paciente le da a uno que Ud. no puede ver, ni lo puede medir, p. ej.: el dolor es un síntoma. Dolor de cabeza es un síntoma, Ud. no puede medir el dolor de cabeza, ni lo puede ver. Mareo es un síntoma, no lo puede medir ni ver...</p> <p>PREGUNTA 5. [IC]:                      ¿Podríamos decir que el signo es una propiedad del síntoma?</p> <p>RESPUESTA [EM]:                      No, son diferentes. Solo son datos complementarios. Las claves diagnósticas pueden ser síntomas o signos, indiferentemente, pero son complementarias.... aunque sean síntomas y signos bien separados en conjunto, le dan una resultante. P.ej. volvemos al Dengue, ¿la fiebre con el dolor de ojos que tienen que ver?. Nada, pero juntos ya lo hacen pensar a uno en Dengue.</p>
ANALISIS	<p>Se observa que el experto médico utiliza con frecuencia el concepto <i>síntoma</i> (también detallados claramente en las entrevistas 2, 3 - no transcritas - y 4), describe su utilidad; sus relaciones; mostrando su importancia en la resolución del problema del dominio.</p> <p>Además se analizó la cantidad de conceptos (secundarios) asociados a él (dolor de cabeza, nauseas, etc.), por lo que se definió como un concepto primario.</p>

Cuadro 4.2.2. Resultado del proceso de enunciación.

CONCEPTO	DESCRIPCION
Síntoma	Es una manifestación causada por una enfermedad, que no puede ser medida, vista o palpada. P.ej.: mialgia, cefalea (dolor de cabeza), dolor abdominal, mareo, etc.

**Lista de conceptos:**

CONCEPTOS PRIMARIOS	
CONCEPTO	DESCRIPCION
Claves diagnósticas	Un fragmento de información conforme con la realidad clínica que guían al médico en la formulación de hipótesis diagnósticas. Estas se obtienen del examen físico y la anamnesis. Por ejemplo: tiempo de duración de la fiebre, el lugar donde vive el paciente, presencia de un signo, etc. Guían al médico en el proceso de diagnóstico diferencial.
Cuadro clínico	Es el conjunto de síntomas y signos que presenta el paciente y sus características, además de otros datos que resultan de la anamnesis como: historial epidemiológico, historia clínica, etc.
Diagnóstico	Es la certeza de la(s) enfermedades que está(n) causando los síntomas y signos que presenta el paciente.
Enfermedad	Es una alteración del funcionamiento del organismo.
Examen físico	Revisión del estado físico del paciente, en él se buscan signos o síntomas, ejemplo: prueba de lazo, prueba de presión, prueba de pulso, etc.
Exámenes clínicos	Son pruebas en algunos fluidos, materias o tejidos del organismo, que sirven para buscar cualidades y circunstancias que permitan confirmar o delimitar una hipótesis.
Hipótesis diagnóstica	Es el conjunto de hipótesis de las posibles enfermedades que podrían estar causando el padecimiento del paciente. Es el paso previo al diagnóstico.
Historia ecológico-social	Se refiere a las condiciones socio-económicas y de ambiente del paciente que determinan la exposición a vectores transmisores de las enfermedades tropicales.
Historia higiénica	Son un tipo de claves diagnósticas que se refieren a los hábitos higiénicos y alimentarios del paciente. Esto puede proporcionar información que ayude a formular una hipótesis diagnóstica más precisa.
Historial clínico	Se refiere a los datos generales del paciente e información complementaria que ayude a formular hipótesis diagnóstica más precisa como: padecimiento de enfermedades anteriores, alergias, etc.
Paciente	Persona enferma o en tratamiento. Los datos generales del paciente son importantes a la hora de elaborar un cuadro clínico completo. Estos datos son: nombre, edad, sexo, religión, estado (embarazada o no) y ocupación.

CONCEPTO	DESCRIPCION
Signos	Es una manifestación causada por una enfermedad, que puede ser medida, vista o palpada. P.ej.: temperatura, vómitos, diarreas, etc.
Síntomas	Es una manifestación causada por una enfermedad, que no puede ser medida, vista o palpada. P.ej.: mialgia, cefalea (dolor de cabeza), dolor abdominal, mareo, etc.
Tratamiento	Es el proceso por medio del cual se trata de eliminar una enfermedad o sus efectos.

### CONCEPTOS SECUNDARIOS

CONCEPTO	DESCRIPCION
Absceso hepático	Cavidad que contiene pus y está rodeada de tejido inflamado, causado por la supuración en una infección
Acolia	Decoloración de las heces.
Adinamia	Falta de energía física y emocional por debilidad psicodinámica.
Albúmina	Proteína que existe en casi todos los tejidos animales y muchos vegetales, soluble en agua y coagulable por calor.
Albuminuria	Albúmina menor de 3.5 g/dl como resultado del examen clínico de proteínas séricas.
Alteración del estado mental	Pérdida del estado de la conciencia provocada por la baja de la presión.
Amibiasis	Infección del intestino o hígado producida por especies patógenas de amebas.
Anamnesis	Parte del examen proceso de diagnóstico diferencial en el que se reúnen todos los datos personales y familiares del enfermo anteriores a la enfermedad.
Angina	Sensación espasmódica, sofocante, similar a un calambre.
Anorexia	Falta o pérdida del apetito, lo que ocasiona abstinencia de comer.
Antígenos recombinantes	Examen clínico para la detección de la enfermedad de chagas, se obtienen las inmunoglobulinas G o M (IgG o IgM), que indican la presencia del parásito en la sangre o si alguna vez existió en el organismo.
Arritmia	Alteración del ritmo de los latidos cardíacos. Se mide a través del pulso.
Artralgia	Dolor en las articulaciones.
Astenia	Síntoma que acompaña a la mayoría de las enfermedades que cursan con anemia. Falta o pérdida de fuerza (cansancio generalizado).
Balantidiasis	Infección provocada por quistes del protozoo Balantidium coli.
Biopsia	Examen clínico que consiste en la extracción y examen, ordinariamente microscópico, de tejidos u otras materias procedentes del organismo vivo, con fines diagnósticos.

CONCEPTO	DESCRIPCION
Bradycardia relativa	Signo característico de la tifoidea. El corazón se comporta de una forma anormal ante la presencia de fiebre. El comportamiento normal es que el corazón incrementa a razón de 10 latidos por minuto por cada grado centígrado por encima de lo normal (37°C). Cuando el paciente padece de tifoidea el corazón mantiene una frecuencia normal de latidos.
Brucelosis	Enfermedad producida por una de las diversas especies de cocobacilo gramnegativo Brucilla.
Cáncer de piel basocelular	Tumor más común de cáncer de piel encontrados en caucásicos, siendo además el menos peligroso.
Cáncer de piel espinocelular	Segundo tipo de cáncer de la piel más frecuente encontrado en caucásicos. Se presenta como una placa roja descamativa y/o ulcerada.
Cefalea	Dolor de cabeza.
Celica	Incapacidad crónica de tolerar alimentos que contienen glúten o proteína de trigo.
Chagas	Enfermedad parasitaria transmitida al hombre por la picadura de algunos insectos que se alimentan por sangre.
Chagoma	Es un nódulo subcutáneo o adenitis regional. Es un signo diferencial de la enfermedad de Chagas en su fase aguda. Es un edema o hinchazón similar a la picada de un zancudo que es duro y no doloroso.
Ciclo menstrual alterado	Alteración del ciclo menstrual en pacientes del sexo femenino.
Cólera	Infección bacteriana aguda del intestino delgado que se caracteriza por la presencia de diarreas y vómitos graves.
Concentrado Strout	Examen clínico general que detecta parásitos en la sangre mediante el uso de una maquina centrífuga que los agrupa en una región para que sean fácilmente observables.
Convulsión	Contracción brusca, violenta e involuntaria de un grupo muscular que puede aparecer bien como un episodio paroxístico de un trastorno convulsivo crónico o bien de forma transitoria, como suele ocurrir tras una contusión cerebral.
Coprocultivo	Estudio ordenado por el médico cuando se sospecha la presencia de parásitos, larvas, o huevos de diferentes familias de helmintos, amebas, tenias y protozoos.
Dengue	Infección aguda por arbovirus transmitida al hombre por el mosquito.
Deshidratación	Disminución o perdida del agua de constitución de los tejidos.
Diarrea	Evacuación intestinal frecuente, líquida y abundante. Signo primario en enfermedades diarreicas. Las características que presenta la diarrea pueden ser un indicador de cual es la enfermedad causante del problema. Las características más importantes son: olor, color, densidad y su comportamiento en el agua.
Diarrea del viajero	Trastorno diarreico que aparece en los visitantes de otras zonas del mundo distintas de la propia.
Dilatación abdominal	Inflamación del abdomen, causado por la forma digestiva de la enfermedad de chagas.
Disfagia	Dificultad para deglutir, habitualmente relacionada con trastornos motores u obstructivos del esófago.

CONCEPTO	DESCRIPCION
Disnea	Dificultad para respirar que puede deberse a ciertas enfermedades cardiacas o respiratorias ejercicio extenuante o ansiedad.
Dolor abdominal	Dolor en la zona del abdomen, generalmente provocado por dolor en el estomago o hepático.
Dolor de pantorrilla	Dolor de los músculos situados en el dorso de la pierna por debajo de la rodilla.
Dolor hepático	Dolor en la zona del hígado.
Dolor precordial	Dolor en la zona del tórax.
Dolor rectal	Dolor en el recto. Suele darse después de defecar cuando se tiene amibiasis.
Dolor retrocular	Dolor ocular u orbital. El paciente lo refiere como dolor detrás de los ojos.
Edema	Acumulación excesiva de liquido seroalbuminoso en el tejido celular, debida a diversas causas: disminución de la presión osmótica del plasma por reducción de las proteínas; aumento de la presión hidrostática en los capilares por influencia cardiaca; mayor permeabilidad de las paredes capilares u obstrucción de las vías linfáticas. Los edemas pueden estar situados en cualquier parte del cuerpo, por lo general su ubicación u origen es lo que le dan un nombre que los distingue, ejemplo: edema angioneurótico, edema de miembros inferiores, etc.
Electrocardiograma	Registro gráfico obtenido mediante un electrocardiógrafo, que es un instrumento utilizado para registrar la actividad eléctrica del miocardio con el fin de detectar las anomalías en la transmisión del impulso cardiaco a través del tejido conductor del músculo.
ELISA	Examen clínico específico utilizado para la detección de inmunoglobulinas que indican la presencia actual o pasada de un germen en la sangre.
Embolismo pulmonar	Bloqueo de la arteria pulmonar por material extraño, como grasa, aire, un tumor tisular o un trombo, que generalmente proviene de una vena periférica.
Embolismo sistémico	Trastorno circulatorio caracterizado por desplazamiento de émbolos a través del torrente sanguíneo, hasta que se bloquea la luz de un vaso.
Epistaxis	Hemorragia nasal.
Equimosis	Cambio de color de un área cutánea o mucosa.
Escalofríos	Estremecimiento general del cuerpo con sensación de frío y calor, indicio generalmente del comienzo de una fiebre.
Esplenomegalia	Aumento de tamaño del bazo. Signo diferencial en enfermedades como Leishmaniasis visceral y Paludismo crónico.
Esteatorrea	Eliminación de cantidades de grasa en las heces, que se caracteriza por la producción de deposiciones espumosas de olor fétido que flotan en el agua.
Estreñimiento	Dificultad en la eliminación de las heces o emisión incompleta e infrecuente de heces anormalmente duras.
Exantemas	Se presenta en enfermedades como Dengue en la que toman forma de "pequeños puntos rojos", Leshmaniasis cutánea en la que toman forma de "yagas" y Chagas en la que toman forma de chagoma o signo de Romaña.
Fiebre	Hipertermia mayor de 37 °C de temperatura. El limite superior de una fiebre observado hasta ahora es de 41 °C. En las enfermedades febriles constituye el síntoma primario.
Fiebre tifoidea	Infección bacteriana producida por Salmonella Typhus, transmitida por leche contaminada, agua o alimentos.

CONCEPTO	DESCRIPCION
Hemorragia Gastrointestinal	Extravación sanguínea procedente del tubo gastrointestinal.
General de heces	Examen general de las heces fecales que identifican leucocitos, presencia de parásitos, sangre oculta y otros, que se utilizan para detectar enfermedades gastrointestinales.
General de orina	Examen clínico que consiste en la identificación de bilirrubina, hemoglobina, nitritos, hematíes y otros componentes que se utilizan para la detección de algunas enfermedades.
Gleras	Mocos en las heces. Este es un signo propio de la amebiasis.
Gota gruesa	Examen clínico que consiste en tomar una muestra de sangre para buscar parásitos.
Hematocrito	Aparato centrifugador que permite la separación de los glóbulos blancos y plasma sanguíneo. La cantidad y proporción relativa de ambos constituye el índice o valor hematocrito que, normalmente es de 45% de glóbulos.
Hemoaglutinación	Aglutinación de los corpúsculos sanguíneos, originada por anticuerpos, virus o ciertas sustancias de alto peso molecular. El concepto se refiere también al examen en el que se determina si existe hemoaglutinación.
Hemoconcentración	Aumento de los neutrofilos por encima de 45% como resultado del hemograma.
Hemocultivo	Cultivo de sangre a través del cual se determina la presencia de bacterias en la sangre.
Hemoglobina	Heteroproteína de color rojo existente en los hematíes, cuya función principal es transportar el O <sub>2</sub> a los tejidos. En el hemograma, la hemoglobina sirve para determinar si hay anemia o no en el paciente. En la orina toma valores + o -, al valor positivo se le llama microhematuria.
Hemograma	Examen clínico en el que se obtienen índices de las propiedades de la sangre.
Hemorragia de mucosas	Hemorragia de las encías.
Hepatitis	Trastorno inflamatorio del hígado.
Hepatomegalia	Aumento de tamaño del hígado.
Hipertensión	Tensión (o presión) alta de los latidos cardíacos.
Hipotensión	Tensión (o presión) baja de los latidos cardíacos.
Ictericia	Coloración amarilla de la piel y los ojos. Este signo se presenta en la Hepatitis, Dengue y otras enfermedades que afectan el hígado.
IgM	Abreviatura de inmunoglobulina M. Sirve para determinar la presencia de anticuerpos que responden a la presencia de enfermedades como Chagas, Dengue, etc.
Infarto	Área delimitada de necrosis en un tejido, vaso, órgano o región como resultado de la anorexia hística que sigue la interrupción del aporte sanguíneo a la zona o, con menor frecuencia por estasis debido a la obstrucción del drenaje venoso.
Infección de garganta	Invasión de la garganta por microorganismos patógenos que se multiplican o reproducen, causando estado morbozo por lesión celular local.
Infección de riñones	Enfermedad causada por la invasión de microorganismos patógenos al área de los riñones.

CONCEPTO	DESCRIPCION
Infección de vías urinarias	Invasión de microorganismos patógenos a las vías urinarias.
Influenza	Gripe.
Inmunofluorescencia indirecta	Detecta la presencia o ausencia de ANCA en suero humano mediante leucocitos polimorfonucleares fijados en etanol.
Insuficiencia cardiaca	Trastorno debido a la incapacidad del corazón de bombear la suficiente cantidad de sangre para compensar el retorno venenoso y los requerimientos metabólicos de los tejidos corporales.
Intoxicación alimentaria	Condición o estado físico producido por la ingestión de sustancias tóxicas.
Leishmaniasis	Infección producida por cualquiera de las especies del género Leishmania. Puede ser cutánea o visceral.
Leptopirosis	Enfermedad aguda infecciosa producida por la espiroqueta Leptospira interrogans y transmitida por la orina de animales salvajes o domésticos, en especial ratas y perros.
Leucemia mieloide crónica	Transtorno caracterizado por la producción excesiva de mielocitos de la serie granulocítica.
Leucocitos	Glóbulos blancos. Aparecen en grandes cantidades en la orina cuando el paciente padece una enfermedad del tipo bacterial.
Leucograma	Examen clínico en el que se obtienen índices de las propiedades de los glóbulos blancos. Este examen se incluye en el hemograma, por lo que se entiende indistintamente del hemograma.
Leucopenia	Leucocitos menor 5,000 como resultado del hemograma.
Leucocitosis	Leucocitos aumentados (> 10,000) como resultado del hemograma.
Linfoadenopatía	Inflamación de los ganglios linfáticos. Puede darse en los ganglios cervicales, axilares e inguinales.
Lumbalgia	Dolor localizado en la parte inferior de la columna vertebral y producido por un estiramiento muscular.
Manifestaciones hemorrágicas	Efectos producidos por la pérdida de una gran cantidad de sangre en un período de tiempo corto.
Mareo	Anomalía causada por movimientos erráticos o rítmicos en cualquier combinación de direcciones.
Meningococcemia	Infección bacterial de la sangre causado por Neisseria meningitidis
Mialgia	Dolor muscular.
Microhematuria	Indica la presencia de sangre en la orina.
Mielocultivo	Examen clínico que consiste en hacer un cultivo de material de medula ósea para determinar la presencia de parásitos de sangre.
Mononucleosis infecciosa	Enfermedad infecciosa producida por el virus de Epstein-Barr, se caracteriza por una triada sistomática con manifestaciones clínicas (faringitis, fiebre y adenopatías), manifestaciones hematológicas y un cuadro serológico característico, con título elevado de aglutininas antihemáticas de carnero.



CONCEPTO	DESCRIPCION
Nauseas	Síntoma presente en las enfermedades del tipo diarreicas y en algunas febriles como Paludismo crónico, Dengue y otras. Se refiere a la sensación que indica la proximidad del vomito y esfuerzos que acompañan a la necesidad de vomitar.
Neutrofilia	Neutrófilos por encima de su valor normal 70%.
Nitritos	Sal de ácido nitroso.
Ostiomelgia	Dolor de huesos.
Otitis media	Inflamación del oído medio, proceso común en la infancia.
Palidez	Tono blanquecido de los tegumentos, especialmente de la cara, transitorio o permanente, por el defecto de circulación sanguínea.
Palpitaciones	Latido rápido del corazón asociado a respuestas emocionales normales o ciertos trastornos cardíacos.
Paludismo	Enfermedad infecciosa grave producida por cuatro especies del género protozoario.
Paresia	Parálisis ligera o parcial relacionada en algunos casos con neuritis local.
Perdida de peso	Se encuentra presente en pacientes con padecimiento de anemia.
Petequias	Pequeña mancha de piel en la piel formada por la efusión de sangre, que no desaparece por la presión del dedo.
Placa de abdomen	Examen clínico que consiste en tomar una radiografía de la zona del abdomen del paciente, para determinar si el paciente presenta signos como aumento en el tamaño del colón (megacolon).
Placa de tórax	Examen clínico que consiste en tomar una radiografía de la zona del tórax del paciente, para determinar si el paciente presenta signos como un aumento de tamaño del corazón, o aumento en el tamaño del esófago.
Plaquetas	Uno de los elementos constituyentes de la sangre. Su valor normal es de 150,000 a 250,000. En la mayoría de los casos los valores de las plaquetas tienden a disminuir en pacientes que con padecimiento de dengue.
Presión arterial	La presión arterial o tensión arterial depende de la fuerza de la actividad cardíaca, de la elasticidad de las paredes arteriales, de la resistencia capilar, de la tensión venosa de retorno y del volumen y viscosidad sanguíneos. Para medirlo se utilizan dos valores de referencia: diastólica y sistólica.
Proteínas séricas	Se refiere a un examen clínico donde se analizan las proteínas séricas (albúmina y globulina).
Prueba de Lazo	Examen clínico que consiste aplicar una presión sanguínea hasta un punto intermedio entre la presión sistólica y la diastólica durante 5 minutos. Después de desinflado se espera a que la piel regrese a su coloración normal y se cuentan el número de petequias en un área cuadrada. Veinte petequias en esta área constituye una prueba positiva.
Prueba de presión	Examen físico que consiste en la medición de la presión cardíaca.
Prueba de pulso	Examen físico que consiste en la medición de la frecuencia del ritmo cardíaco.
Pulso:	Número de latidos por unidades de tiempo, normalmente minutos. El pulso tiende a acelerarse 10 pulsaciones por minuto por cada grado centígrado por encima de la temperatura normal (37 °C).
Rash:	Ulceras cutáneas muy pequeñas y de color rojo.

CONCEPTO	DESCRIPCION
Respiración	Intercambio molecular de oxígeno y dióxido de carbono en el sistema pulmonar.
Respiración acelerada	Aumento del ritmo respiratorio.
Rubéola	Enfermedad contagiosa, de origen vírico.
Sangre oculta	Término empleado para referir presencia de sangre en las heces.
Sarampión	Enfermedad vírica muy contagiosa que afecta las vías respiratorias.
Sepsis bacteriana	Infección, contaminación por bacterias.
Shigelosis	Infección bacteriana aguda del intestino, caracterizada por diarrea, dolor abdominal y fiebre, que se transmite por el contacto mano-boca con las heces de individuos afectados por una especie patógena de bacterias del genero Shiguella.
Shock frontal	Síndrome consecutivo a la disminución prolongada del volumen de sangre circulante. Clínicamente se caracteriza por hipotensión arterial, hipotermia cutánea, hiperestesia, palidez y sudoración viscosa.
Shock profundo	Similar al Shock frontal con la diferencia que la hipotensión es extrema, con valores de la presión diastólica y sistólica de 00 mm. Hg.
Signo de Romaña	Oftalmía unilateral en la enfermedad de Chagas. Consiste en la inflamación de los párpados de un ojo, que no permite que se cierre. Se caracteriza por que el ojo permanece claro, y no presenta secreciones.
Sincope	Pérdida de conciencia de poca duración debida a un episodio de hipoxia cerebral transitoria. Por lo general va precedido por una sensación de mareo.
Síndrome disenteriforme	Síntoma producido por la inflamación del intestino, especialmente del colon. Se caracteriza por gleras y sangre en las heces.
Sprue Tropical	Síndrome de mala absorción que ocurre debida a la malnutrición proteínica de las regiones del trópico y subtropical. Usualmente es precipitado a la mala absorción y anemia debido a la deficiencia de ácido fólico.
Sudoración	Exhalación de sudor de forma profusa.
Suero o tejido	Examen clínico en el que se toma una muestra de suero o tejido del paciente para determinar la presencia de virus en la muestra. Este examen permite determinar el cerotito del virus del que se trata.
Transaminasas	Enzima que cataliza la transferencia de un grupo amino de los aminoácidos a los cetoácidos. El concepto transaminasas se refiere también a un examen en el que se miden las propiedades de estas enzimas.
Trofozoitos	Protozoos.
Úlcera cutánea	Solución de continuidad con pérdida de sustancias de cualquier superficie epitelial del organismo, con escasa o nula tendencia a la cicatrización espontánea. Signo primario en Leishmaniasis visceral.
Vómitos	Expulsión violenta por la boca de materias contenidas en el estómago.

### CONCEPTOS VINCULANTES

CONCEPTO	DESCRIPCION
Clave diagnóstica diferencial	Son aquellas que determinan las hipótesis diagnósticas que se formulan. Es decir, ayudan a establecer o descartar una sospecha.
Clave diagnóstica incremental	Son aquellas que incrementan la probabilidad de que una enfermedad en específico sea la causante de los padecimientos del paciente.
Enfermedad relacionada	Son enfermedades que quedan fuera del alcance del diagnóstico por no ser tropicales, pero que pueden ser consideradas a la hora de formular la hipótesis diagnóstica.
Enfermedad tropical	Enfermedad de origen infeccioso, causada por un germen. Estas enfermedades se presentan en zonas tropicales.
Exámenes clínicos específicos	Son un tipo de exámenes clínicos que por lo general tardan entre 5-7 días en obtenerse sus resultados. Estos son: hemocultivos, mielocultivos, coprocultivo, urocultivo.
Exámenes clínicos generales	Son un tipo de exámenes clínicos, que son de rápida respuesta. Estos son: general de orina, general de heces, gota gruesa y hemograma.
Signo diferencial	Son signos que determinan el proceso de diagnóstico.
Signo primario	Tiene la misma connotación que el síntoma primario.
Síntoma diferencial	Tienen la misma connotación que el signo diferencial.
Síntoma primario	Uno o varios de estos constituyen el problema o razón por la que llegó a pasar consulta el paciente.

### 3. PARAMETRIZACION

En la parametrización se asignan atributos y valores a cada uno de los términos del diccionario de conceptos. Se obtuvo a partir del análisis de conocimiento del experto médico recolectado en las entrevistas.

El objetivo final del proceso de parametrización fue la elaboración de la tabla concepto-atributo-valor que se presenta a continuación.

#### 3.1 TABLA CONCEPTO / ATRIBUTO / VALOR

La tabla concepto / atributo / valor permite representar cada concepto con los atributos que lo describen y especificar los distintos valores que puede llegar a poseer durante el proceso de resolución del problema empleado por el experto médico.

Para facilitar la comprensión se presenta el siguiente ejemplo, en el que se desea parametrizar el concepto *diarrea*.

Cuadro 4.3.1. Segmento de la entrevista 6 y su análisis para la parametrización del concepto *diarrea*.

<b>ENTREVISTA</b>	Nº 6: Diagnóstico de dengue y enfermedades diarreicas
<b>CONCEPTO</b>	DIARREA
<b>SEGMENTO DE LA ENTREVISTA</b>	<p><b>Enfermedades diarreicas</b></p> <p><b>Caso Amebiasis</b>                  RESPUESTA [EM]:                  Cuadro clínico: Paciente de 23 años, con historia de 5 días de diarrea. La diarrea la hace 6-8 veces al día, aproximadamente 1 taza cada vez. Llega con gleras (mocos en las heces) y sangre. Dolor intenso a nivel rectal al terminar de hacer sus necesidades, además presenta fiebre leve e intermitente y dolor abdominal difuso (dolor suave en todo el estomago). ...</p> <p><b>Caso Parasitosis intestinal.</b>                  RESPUESTA [EM]:                  La paciente aqueja que entre media hora y una hora después de comer le duele el estomago (dolor abdominal). Las heces son blancas, espumosas, fétidas y flotan en el agua. Se mandan los mismos exámenes.</p> <p>PREGUNTA 29. [IC]:                  ¿Se elimina algún síntoma del caso anterior?</p>

	<p>RESPUESTA [EM]:                  Qúitele el dolor después de defecar. Ahí ya cambio la característica de la diarrea. Al preguntar la característica ya no hay sangre ni moco. No está deshidratada y le duele cuando le tocan [el estomago].</p> <p>PREGUNTA 34. [IC]:                  ¿Y en el caso anterior?</p> <p>RESPUESTA [EM]:                  Si me dice que hay diarrea con sangre, moco y dolor después de hacer sus necesidades, eso se llama disentería: síndrome desinteriforme ¿quién lo produce? Ameba.</p> <p>PREGUNTA 35. [IC]:                  ¿No puede ser otra cosa?</p> <p>RESPUESTA [EM]:                  Como no. Hay dos gérmenes más que lo pueden hacer, pero aquí en el país son más comunes [las <i>amebas</i>], porque está la <i>ameba</i>, una bacteria que se llama <i>shiguella</i> y <i>balantidium coli</i> (que lo pasa el cerdo)...</p> <p><b>Caso cólera</b></p> <p>RESPUESTA [EM]:                  Cuadro clínico: Paciente femenino de 50 años, 24 horas de evolución de cámaras [diarreicas] incontables, de abundante volumen, líquidas, sin gleras ni sangre, además vómitos incontables. La paciente llega pálida, fría, sudorosa, una presión arterial de cero y pulso acelerado y débil.</p> <p>PREGUNTA 51. [IC]:                  ¿Ante este cuadro es casi seguro que es Cólera?.</p> <p>RESPUESTA [EM]:                  Supongamos que no llegue hipotensa, supongamos que llega 110-70, pero está con esa diarrea y los vómitos. Tiene varios elementos para seguir pensando que es Cólera. ¿Cuáles son?. El inicio abrupto, la diarrea tan voluminosa y tan frecuente, los vómitos y que las heces no llevan ni llevan sangre ni moco y no son fétidas. La diarrea de cólera no huele mal, si acaso huele a pescado....</p>
<p><b>ANALISIS</b></p>	<p>El objetivo es parametrizar el concepto <i>diarrea</i>. Deben de analizarse las características (atributos y valores) que el experto asigna en diferentes respuestas de la entrevista 6. Además hay que aclarar que la diarrea es un concepto secundario que depende del concepto <i>signo</i>.</p>

Despues de realizado el análisis del conocimiento de la entrevista 6, se obtuvo como resultado la parametrización del concepto *diarrea*, que se observa en el cuadro 4.3.2.

Cuadro 4.3.2. Tabla concepto / atributo / valor del concepto diarrea.

CONCEPTO PRIMARIO	Signo	
CONCEPTO SECUNDARIO	ATRIBUTO	VALOR
Diarrea	Cantidad	> 0 taza
	Color	Café, Blanco, otros
	Consistencia	Pastosa, Liquida, Espumosa
	Evolución	Aguda (<= 1 semana), crónica (> 1 semana)
	Flotan	SI,NO
	Frecuencia	Esporádica (0 a 6 cámaras/día) Intermitente (6 a 8 cámaras/día), Continua (> 8 cámaras/día)
	Gleras	Presencia, ausencia
	Inicio	Gradual, explosivo
	Intensidad	Leve, Moderada y Fuerte
	Olor	Sin olor, Fétido, Pescado, otros
	Sangre	Presencia, ausencia

## 4. PLANTEAMIENTO DE CAUSALIDADES

En este paso el IC estableció las relaciones entre conceptos y las reglas asociadas. Además se especificaron los hechos como complemento al modelo del conocimiento del experto médico.

El objetivo principal del planteamiento de causalidades fue: construir la **relación entre conceptos** (*mapa conceptual*) y crear el **modelo de razonamiento del experto** (*conocimiento estratégico, táctico y fáctico*), que se presentan a continuación.

### 4.1 RELACION ENTRE CONCEPTOS

El planteamiento de causalidades trata de modelar la relación de causa–efecto entre los conceptos, de acuerdo a la forma en como el experto médico los utiliza para el diagnóstico de enfermedades tropicales.

La relación causal entre los conceptos refleja la dirección de causa–efecto asumida en el *mundo*: en la que cierta propiedad del mundo provoca la generación de ciertas percepciones.

Como una aproximación a la relación de causalidad entre los conceptos, se presenta un **mapa de conceptos**, mostrado en la figura 4.4.1, que refleja una relación entre conceptos primarios, generada a través de los conceptos vinculantes.

En la relación pueden identificarse los siguientes tres procesos:

1. Formulación de hipótesis diagnóstica
2. Diagnóstico
3. Tratamiento

Este mapa de conocimiento muestra una ontología general del dominio: una generalización de los mundos del sistema. Hay que tomar en cuenta que para modelar un mundo específico será necesario ignorar algunas relaciones y enfatizar otras.

MAPA CONCEPTUAL

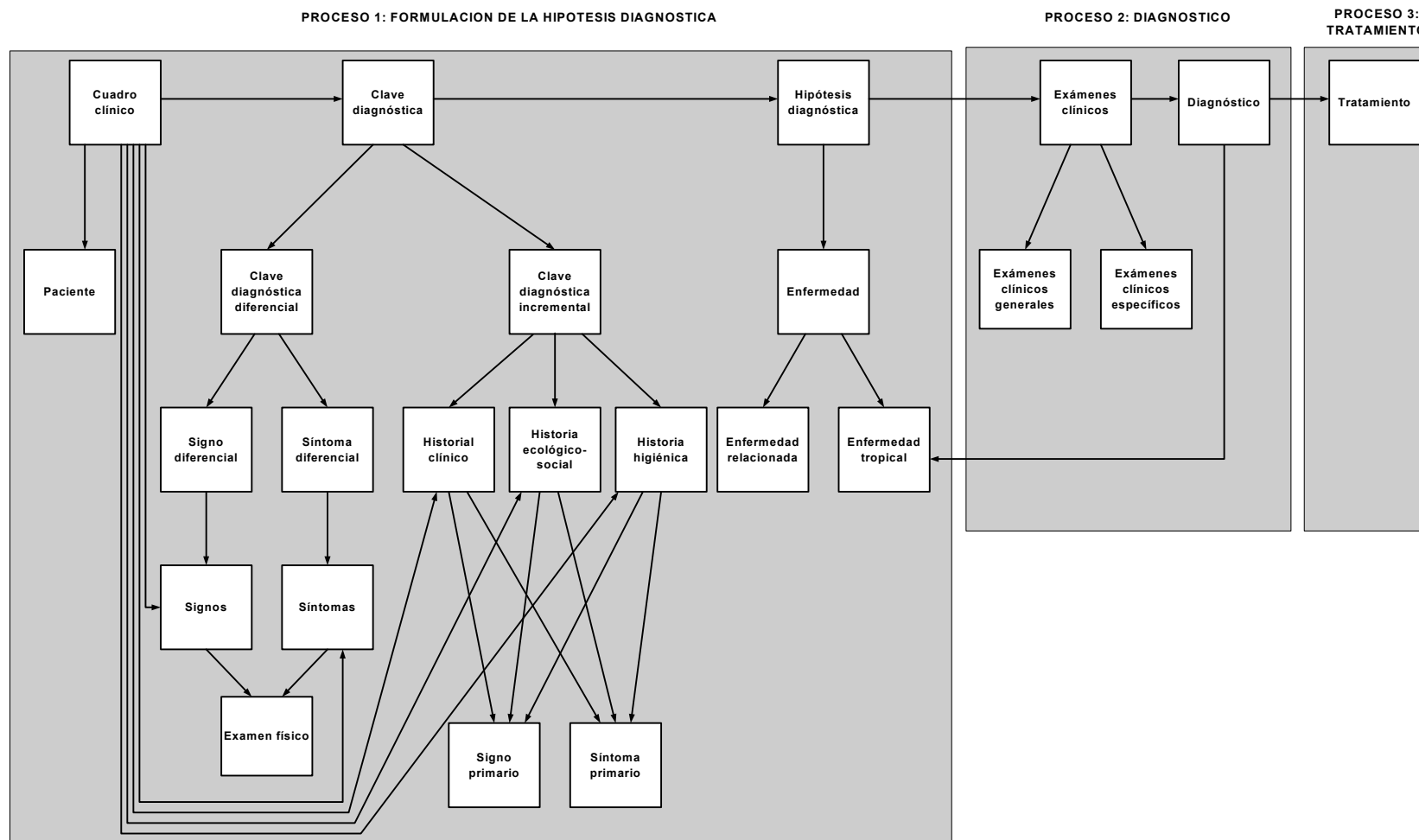


Figura 4.4.1. Mapa conceptual.



## 4.2 MODELO DE RAZONAMIENTO DEL EXPERTO

Para identificar una relación causal más clara entre los conceptos, es necesario tener en cuenta que estos constituyen el conocimiento que el experto emplea en el proceso de razonamiento a la hora de resolver un problema.

El modelado del proceso de razonamiento del experto consiste en clasificar el conocimiento en tres tipos: **estratégico**, **táctico** y **fáctico**.

### 4.2.1 CONOCIMIENTO ESTRATEGICO

El conocimiento estratégico o epistemológico es el más abstracto de los tres tipos. Sirve al experto para saber qué, cómo y cuando tomar una acción. Este conocimiento fija la secuencia de pasos que se deben seguir para realizar un proceso o una tarea específica.

El diagrama jerárquico de tareas mostrado en la figura 4.4.2, describe la forma en que el experto realiza su trabajo, donde las sub-tareas remarcados en negro son las que corresponden al proceso de razonamiento del experto, que tendrán un correspondencia en la base de conocimientos.

### ANALISIS DE LOS CONOCIMIENTOS ESTRATEGICOS

Este análisis permite desarrollar una definición muy precisa de:

- a. Los pasos modulares que sigue el experto al desarrollar su tarea.
- b. El flujo de control que describe el funcionamiento del sistema experto, que desemboque en un diseño modular.

Pasos de alto nivel

1. Elaboración de hipótesis diagnóstica.
2. Generación de diagnóstico.
3. Tratamiento.

### DIAGRAMA JERARQUICO DE TAREAS

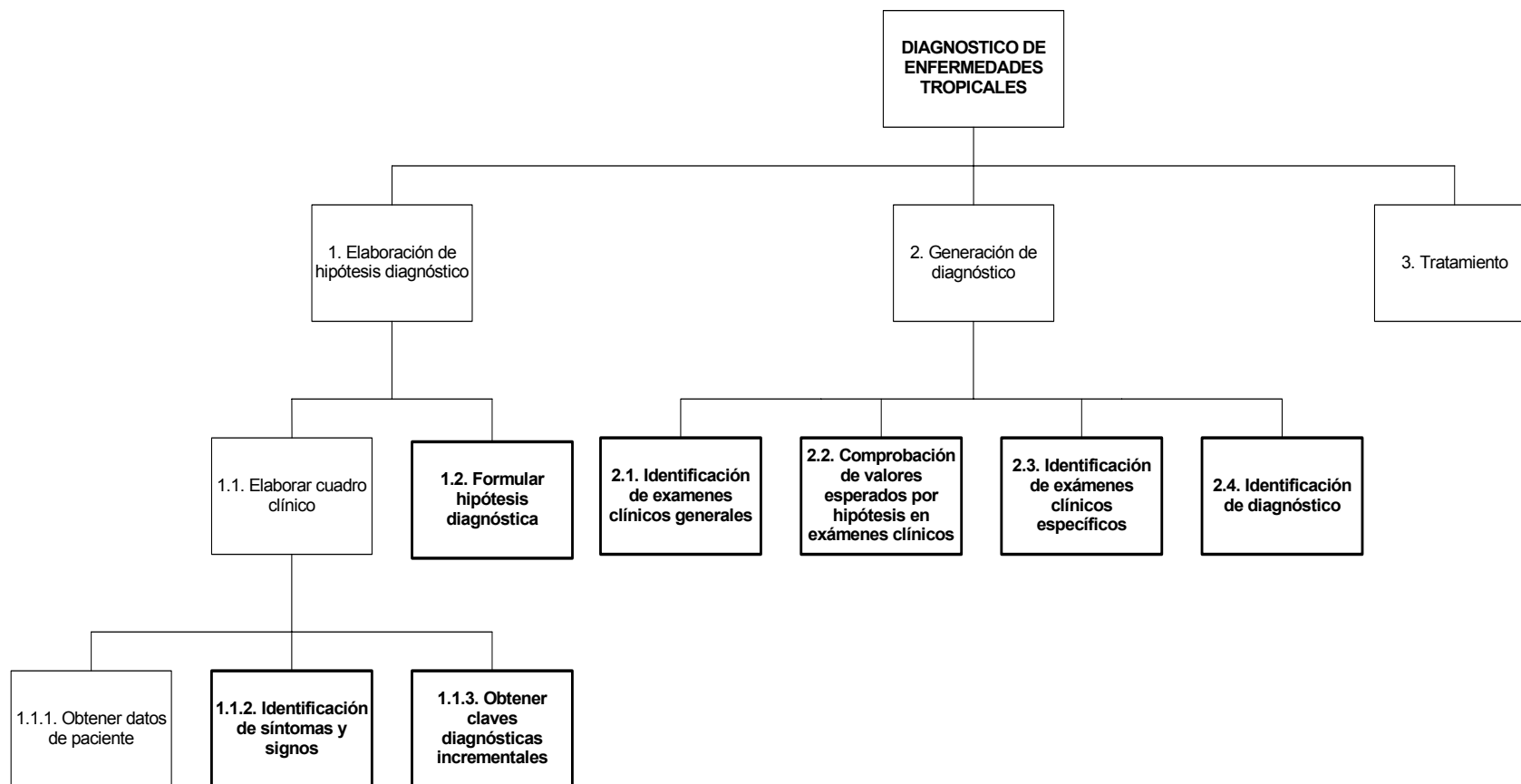


Figura 4.4.2. Diagrama jerárquico de tareas.

## 4.2.2 CONOCIMIENTOS TACTICOS

El conocimiento táctico o lógico es aquel que sirve al experto para saber en que momento de la ejecución de una tarea debe incorporar nuevo conocimiento a lo que sabe del *mundo*, es decir al conocimiento que tiene acerca de un caso clínico específico.

Se debe detallar cómo se realizan los diferentes pasos identificados en el modelo de razonamiento.

### Representaciones intermedias

Para representar el conocimiento táctico del experto se han utilizado pseudo reglas. El análisis del experto para cada regla ha sido obtenido de las entrevistas. A partir de este análisis se desarrollan las pseudo reglas que serán implementadas en el SE.

Las pseudo reglas corresponden a las decisiones tácticas descritas en el cuadro 4.4.1. Estas decisiones están asociadas a las sub-tareas del *diagrama jerárquico de tareas* del conocimiento estratégico.

Cuadro 4.4.1. Decisiones tácticas del experto médico.

No	DECISIONES TACTICAS	SUB-TAREA ASOCIADA
1.	Como identificar síntomas primarios y diferenciales, signos primarios y diferenciales que establecen una clave diagnóstica.	1.1.2
2.	Como identificar claves diagnósticas incrementales.	1.1.3
3.	Como establecer las hipótesis diagnósticas tomando como base las claves diagnósticas y asignar prioridades.	1.2
4.	Cómo identificar exámenes clínicos generales que corresponden a las hipótesis diagnósticas planteadas.	2.1
5.	Como confirmar o descartar sospechas de hipótesis diagnósticas utilizando los exámenes clínicos generales.	2.2
6.	Como identificar que exámenes clínicos específicos son necesarios, en caso de confirmar o plantear nuevas hipótesis.	2.3
7.	Como confirmar o descartar sospechas de hipótesis diagnósticas utilizando los exámenes clínicos específicos.	2.4
8.	Como determinar y formular el diagnóstico del paciente.	2.2 y 2.4

## Convenciones utilizadas en la descripción de pseudo reglas

Para la descripción de las pseudo reglas se utilizará la información que se presenta en los cuadros 4.4.2, 4.4.3 y 4.4.4.

Cuadro 4.4.2. Convenciones utilizadas para las pseudo reglas.

CONVENCIONES	DESCRIPCION
Nombre de la regla	Es un mnemónico que se asigna para reconocer la regla, por lo que debe ser descriptivo. Si se incluye numeración denota la prioridad de la regla.
Identificador	Contiene un valor numérico que identifica las reglas que tienen una secuencia de profundidad. Indica la prioridad de aplicación de las reglas. En caso de que no exista el identificador tienen el mismo nivel y prioridad.
Análisis del experto	Contiene una descripción del proceso de razonamiento del experto.
Formulación de la regla	Se refiere propiamente a la pseudoregla. Considerando los elementos relativos a cada enfermedad y al proceso de diagnóstico diferencial. Como estándar para la formulación de reglas, se utilizará la estructura de decisión IF-THEN. Se refiere a que si se cumplen las condiciones del lado IF representado por la etiqueta Si, se realizan las acciones del lado THEN representado por la etiqueta Entonces. Al finalizar la formulación de la regla se debe colocar la etiqueta Fin.
Preguntar ( )	Función que especifica que se debe preguntar al paciente, el signo, síntoma o atributo comprendido dentro del paréntesis. Ejemplo: Preguntar (fiebre.intensidad).

Cuadro 4.4.3. Simbología utilizada para las pseudo reglas.

SIMBOLOS	DESCRIPCION
//	indica un comentario
	“O lógico”
&&	“Y lógico”. Si se encuentra en la parte <i>SI</i> de la regla, es una condición. Si se encuentra en la parte <i>ENTONCES</i> se refiere a la unión de cadenas de caracteres.
<>	“diferente a”
==	“igual a”. Compara los valores de un concepto dado, con un hecho específico.
=	Se refiere a la asignación de un valor a un concepto dado. Ejemplo: Cdd = Síntoma_diferencial.
.	Delimitador de atributos de un concepto. Ejemplo: “concepto.atributo” equivale a “fiebre.intensidad”

Cuadro 4.4.4. Abreviaturas para el nombre de las pseudo reglas.

ABREVIATURAS	DESCRIPCION
r_Sgp	Regla para el signo primario.
r_PregAtr	Regla para identificar los atributos de los signos primarios. Ejemplo r_PregAtrSigno
r_Cd	Regla para obtener las claves diagnósticas relativas a una enfermedad. Se hace uso de la técnica MayMin para los nombres compuestos de enfermedades. Ejemplo r_CdEnfermedad.
r_Cdd	Regla para establecer las claves diagnósticas diferenciales para una enfermedad. Ejemplo r_CddEnfermedad.
r_Cdi	Regla determinar las claves diagnósticas incrementales de una o varias enfermedades. Ejemplo r_CdiEnf1Enf2.
r_Hd	Regla para establecer las hipótesis diagnósticas obtenidas del proceso de diagnóstico diferencial. Ejemplo r_HdEnfermedad
r_Ecg	Regla para determinar exámenes clínicos generales. Ejemplo r_EcgExamen.
r_Con	Regla utilizada para confirmar una enfermedad a partir de exámenes clínicos generales y específicos. Ejemplo r_ConEnfermedad.
r_Des	Regla utilizada para descartar una enfermedad de los resultados de los exámenes clínicos generales y específicos. Ejemplo r_DesEnfermedad
r_Ece	Regla para determinar los exámenes clínicos específicos. Ejemplo r_EceExamen.
r_Diagnóstico	Regla para emitir un diagnóstico final en base a la confirmación de las hipótesis.
Cd	Lista de almacenamiento de claves diagnósticas.
Cdd	Lista de almacenamiento de claves diagnósticas diferenciales
Cdi	Lista de almacenamiento de claves diagnósticas incrementales.
Diagnóstico	Unidad de almacenamiento del diagnóstico final.
Ecg	Unidad de almacenamiento para un examen clínico general.
Ece	Unidad de almacenamiento de examen clínico específico.
Hd	Lista de almacenamiento de una o más hipótesis diagnósticas.
Hc	Unidad de almacenamiento para una hipótesis diagnóstica confirmada.
Hdes	Lista de almacenamiento de hipótesis diagnósticas descartadas.

A continuación se describen un ejemplo de regla para cada decisión táctica identificada. Para conocer todas las reglas identificadas, ver el documento *ETAPA III, CAPITULO I, Conocimientos Tácticos*, que se encuentra en el CD-ROM.

**1. Como identificar síntomas primarios y diferenciales, signos primarios y diferenciales que aproximan a una hipótesis diagnóstica.**

Nombre de la regla	r_PregAtrFiebre	Identificador	0.1.0
Análisis del experto	Se especifica la anamnesis, si el signo primario fuera fiebre. Se deben conocer los atributos del signo primario.		
Formulación de la regla	<p><i>Si</i>                      Signo == fiebre  <i>Entonces</i>                      Preguntar (fiebre.intensidad)                      Preguntar (fiebre.temperatura)                      Preguntar (fiebre.frecuencia)                      Preguntar (fiebre.evolución)  <i>Fin</i></p>		

Nombre de la regla	r_CddDengue	Identificador	1.1.1
Análisis del experto	Continua con dengue una vez evaluado fiebre, dolor retrocular y rash y los demás valores normales.		
Formulación de la regla	<p><i>Si</i>                      Signo_primario == Fiebre &amp;&amp;                      Fiebre.evolución == aguda &amp;&amp;                      Fiebre.frecuencia == continua &amp;&amp;                      Fiebre.intensidad == alta &amp;&amp;                      Síntoma_diferencial == (dolor_retrocular presencia si) &amp;&amp;                      Signo_diferencial == (rash presencia si)    (epistaxis presencia no)                      (manifestaciones_hemorragicas presencia no)    (Pulso normal normal)                         (hipotension presencia no)    (hipertensión presencia no)                         (presion diastolica &gt; 0.0 mmHg sistolica &gt; 0.0 mmHg)  <i>Entonces</i>                      Cdd = Síntoma_diferencial &amp;&amp; Signo_diferencial  <i>Fin</i></p>		

## 2. Como identificar claves diagnósticas incrementales

Nombre de la regla	r_CdiPaITif	Identificador	1.0
Análisis del experto	Identifica las claves diagnósticas incrementales del paludismo y la fiebre tifoidea.		
Formulación de la regla	<p><i>Si</i></p> <p>Signo_primario == Fiebre &amp;&amp;                      Fiebre.evolución == aguda &amp;&amp;                      Fiebre.frecuencia == continua &amp;&amp;                      Fiebre.intensidad == alta &amp;&amp;                      Síntoma_diferencial == (hepatomegalia presencia si) &amp;&amp;                      Síntoma_diferencial == (esplenomegalia presencia si)</p> <p><i>Entonces</i></p> <p>Preguntar (Almacena_agua)                      Preguntar (Protege_agua_almacenada_contra_larvas)                      Preguntar (Vive_zona_riesgo)                      Preguntar (Agua_potable)</p> <p><i>Fin</i></p>		

## 3. Como establecer las hipótesis diagnosticas tomando como base las claves diagnósticas

Nombre de la regla	r_HdDengue	Identificador	1.0
Análisis del experto	Compara los valores conocidos de la enfermedad Dengue clásico, con la clave diagnóstica diferencial e incremental obtenida en los modulos anteriores.		
Formulación de la regla	<p><i>Si</i></p> <p>Cdd == Cdd_dengue_clásico &amp;&amp;                      Cdi == Cdi_dengue_clásico</p> <p><i>Entonces</i></p> <p>Hd = "Dengue Clásico"</p> <p><i>Fin</i></p>		

**4. Cómo identificar exámenes clínicos generales que corresponden a las hipótesis diagnósticas**

Nombre de la regla	r_EcgHemograma
Análisis del experto	A partir de las hipótesis diagnósticas obtenidas, se identificarán las enfermedades que hacen uso del hemograma.
Formulación de la regla	<p><i>Si</i></p> <p>Hd == "Dengue"    "Dengue hemorrágico"    "Dengue con manifestaciones hemorrágicas"    "Dengue hemorrágico 1 y 2"    "Shock por dengue hemorrágico 3 y 4"    "Cólera"    "Fibre Tifoidea"    "Paludismo fase aguda"    "Paludismo fase crónica"    "Amibiasis"    "Balantidiasis"    "Giardiasis"    "Shigelosis"    "Leishmaniasis cutánea"    "Leishmaniasis visceral"    "Chagas fase aguda"</p> <p><i>Entonces</i></p> <p>Ecg = "Hemograma"</p> <p><i>Fin</i></p>

**5. Como confirmar o descartar sospechas de hipótesis diagnósticas utilizando los exámenes clínicos generales**

Nombre de la regla	r_ConPaludismoCron
Análisis del experto	Haciendo uso de los resultados de los exámenes de laboratorio el experto médico los compara con los valores esperados de la hipótesis diagnóstica para confirmar paludismo crónico.
Formulación de la regla	<p><i>Si</i></p> <p>Hd == "Paludismo cronico" &amp;&amp;</p> <p>EcgHemograma == Hemograma_para_paludismo_cronico &amp;&amp;</p> <p>EcgGota_gruesa == Gota_gruesa_para_paludismo_cronico &amp;&amp;</p> <p>EcgOrina == General_orina_para_paludismo_cronico &amp;&amp;</p> <p><i>Entonces</i></p> <p>Hc = "Paludismo cronico"</p> <p><i>Fin</i></p>

**6. Cómo identificar exámenes clínicos específicos que corresponden a las hipótesis diagnósticas**

Nombre de la regla	r_EceELISA
Análisis del experto	A partir de las hipótesis diagnósticas remanentes de los exámenes clínicos generales, se identificarán las enfermedades que hacen uso de ELISA.
Formulación de la regla	<p><i>Si</i></p> <p>Hd == "Dengue"    "Dengue hemorrágico"    "Dengue con manifestaciones hemorrágicas"    "Dengue hemorrágico 1 y 2"    "Shock por dengue hemorrágico 3 y 4"    "Chagas fase aguda"    "Chagas fase crónica forma digestiva"    "Chagas fase crónica forma cardiaca"</p> <p><i>Entonces</i></p> <p>Ece = "ELISA"</p> <p><i>Fin</i></p>



**7. Como confirmar o descartar sospechas de hipótesis diagnósticas utilizando los exámenes clínicos específicos**

Nombre de la regla	r_ConFieTif
Análisis del experto	A través de los resultados de los exámenes clínicos específicos, el experto médico los compara con valores esperados de la hipótesis diagnóstica para confirmar fiebre tifoidea.
Formulación de la regla	<p><i>Si</i></p> <p>Hd == "Fiebre tifoidea" &amp;&amp;                      Ece_Hemocultivo == Hemocultivo_para_tifoidea</p> <p><i>Entonces</i></p> <p>Hc = "Fiebre tifoidea"</p> <p><i>Fin</i></p>

**8. Como determinar el diagnóstico del paciente**

Nombre de la regla	r_Diagnóstico
Análisis del experto	Haciendo uso de los resultados obtenidos de los exámenes clínicos generales, se establece un diagnóstico si se conoce alguna hipótesis diagnóstica confirmada. Para este punto si no se ha establecido una hipótesis diagnóstica confirmada, se revisan los resultados de los exámenes clínicos específicos en busca de confirmar una hipótesis. Esta regla se dispara, si existe un valor para hipótesis diagnóstica confirmada.
Formulación de la regla	<p><i>Si</i></p> <p>Hc == "Dengue"    "Dengue con manifestaciones hemorrágicas"    "Dengue hemorrágico 1 y 2"    "Shock por dengue hemorrágico 3 y 4"    "Colera"    "Fibre Tifoidea"    "Paludismo fase aguda "    "Paludismo fase crónica"    "Amibiasis"    "Balantidiasis"    "Giardiasis"    "Shigelosis"    "Leishmaniasis cutánea"    "Leishmaniasis visceral"    "Chagas fase aguda"    "Chagas fase crónica forma cardiaca"    Chagas fase crónica forma digestiva"</p> <p><i>Entonces</i></p> <p>Diagnóstico = Hc</p> <p><i>Fin</i></p>

### 4.2.3 CONOCIMIENTOS FACTICOS

Los conocimientos fácticos del experto médico contienen la información que el SE conocerá a priori acerca del dominio de enfermedades tropicales, así como conocimiento del caso específico (p. Ejemplo: amibiasis, dengue, chagas, etc.) al ejecutar su tarea.

Los hechos se almacenan en la base de hechos del SE y se utilizan como datos de entrada, conclusiones o resultados de salida.

A continuación se presentan los ejemplos de la **definición de los hechos generales** y posteriormente se detallan los **hechos específicos** para cada enfermedad tropical.

#### A. DEFINICION DE HECHOS GENERALES

Los hechos generales se asemejan al mapa conceptual, solo que en forma de hechos. Los hechos generales muestran el uso que el experto da a los conceptos primarios, para la solución del problema sin importar el caso que se este tratando.

Los hechos generales que se definen son: claves diagnósticas, cuadro clínico, diagnóstico, enfermedad, examen físico, exámenes clínicos, hipótesis diagnóstica, historia ecológico-social, historia higiénica, historial clínico, paciente, signos y síntomas. Como un ejemplo se presenta en el cuadro 4.4.5 la definición del hecho cuadro clínico.

*Cuadro 4.4.5. Definición de hecho general cuadro clínico.*

ESTRUCTURA	Cuadro_clínico
INFORMACION	DESCRIPCION
<b>Atributo</b>	
<b>Definición</b>	Se refiere a lo que debe contener el cuadro clínico al final del proceso de establecimiento de hipótesis diagnósticas.
<b>Tipo de Valor</b>	Cadena de Caracteres
<b>Rango de Valores</b>	Datos_de_Pacientes Historia_ecologico-social Historia_higiénica Historial_clínico Signos Síntomas
<b>Uso</b>	Para contener todos los datos obtenidos de la consulta por una enfermedad, clasificados y listos para emitir una hipótesis diagnósticas.
<b>Formato de Resultado de Salida</b>	Texto

## B. DEFINICION DE HECHOS ESPECIFICOS (Estructura, atributo y valor)

Los hechos específicos muestran el conocimiento que utiliza el experto médico para resolver un caso específico del dominio; es decir la información necesaria para diagnosticar una enfermedad dentro de las posibles enfermedades tropicales. La definición de hechos específicos se presenta dividida por enfermedad y concepto primario.

El hecho específico se obtiene a partir del proceso de parametrización, especificando el conocimiento general del experto para cada mundo posible.

El siguiente ejemplo muestra los hechos específicos para dengue, fiebre tifoidea y paludismo del concepto secundario *fiebre*, obtenidos en las entrevistas 5 y 9.

El objetivo es delimitar el conocimiento del experto (en este caso la *fiebre*) en cada una de las enfermedades con proceso febril y determinar cómo este conocimiento se guardará en la base de hechos del SE.

Cuadro 4.4.6. Segmento de la entrevista 5.

ENTREVISTA	Nº 5: Diagnóstico de paludismo y fiebre tifoidea
<p><b>SEGMENTO DE LA ENTREVISTA</b></p>	<p><b>Paludismo y Fiebre tifoidea</b></p> <p>RESPUESTA [EM]:</p> <p>Cuadro clínico: Paciente masculino de 25 años. Llegó a emergencia consultando por una semana de fiebre continua, escalofríos intensos seguidos de la fiebre, debilidad generalizada desde que comenzó el cuadro, dolor en todas las articulaciones y pulso acelerado de 120. No tiene vómitos, manchas en la piel, ni otro síntoma.</p> <p>Examen físico: Tiene una temperatura de 41°. (lo normal es hasta 37°). Esta sudoroso. El hígado y el bazo se encuentran aumentados.</p> <p>Hipótesis diagnóstica:</p> <p>A. <i>Paludismo</i></p> <p>B. <i>Fiebre tifoidea</i> (provocada por una bacteria llamada <i>salmonella tifus</i> (que se encuentra en el agua o los alimentos). Si estuviera amarillo se pensaría que es <i>Hepatitis</i>.</p> <p>PREGUNTA 24. [IC]:</p> <p>¿En qué situación podría confundirse el <i>Dengue</i> con la Fiebre tifoidea?</p> <p>RESPUESTA [EM]:</p> <p>En la fase inicial, porque la fiebre por <i>Dengue</i> raramente dura más de 7 días, en cambio con la tifoidea puede pasar hasta tres semanas con calentura.</p> <p>PREGUNTA 28. [IC]:</p> <p>Para el caso de Paludismo, ¿Qué se debe buscar en el examen físico?</p> <p>RESPUESTA [EM]:</p> <p>Hígado y bazo grandes, temperatura.</p>

	<p><b>PREGUNTA 29. [IC]:</b>                  ¿Igual que en la Fiebre tifoidea?</p> <p><b>RESPUESTA [EM]:</b>                  Si. Ahora, la Fiebre tifoidea tiene una característica muy interesante, normalmente cuando hay fiebre el corazón se acelera, a una razón de 10 latidos adicionales, por grado centígrado de temperatura. Y en la Fiebre tifoidea no; podemos tener hasta 40° de temperatura y la frecuencia normal. Eso se llama bradicardia relativa. Es decir, hay un mecanismo de compensación, por cada grado centígrado de temperatura, el corazón late 10 veces más. Si tenía 80, tiene 90, si tiene 90 tiene 100, y así sucesivamente. En la tifoidea no sucede eso; solo en tifoidea.</p>
--	--

Cuadro 4.4.7. Segmento de la entrevista 9.

ENTREVISTA	N° 9: Verificación de diagnóstico diferencial
<b>SEGMENTO DE LA ENTREVISTA</b>	<p><b>PREGUNTA 1. [IC]:</b>                  De acuerdo a esa clasificación (Listado de enfermedades tropicales). ¿Cuáles son las claves diagnósticas que nos ayudan a diferenciar una enfermedad?</p> <p><b>RESPUESTA [EM]:</b>                  Yendo en el orden (Fiebre tifoidea, Paludismo, Dengue ...) que Ud. me ha entregado:                  Diagnóstico diferencial de Fiebre tifoidea. Con Paludismo se va diferenciar en primer lugar porque la fiebre [del Paludismo] es cada tres o cuatro días, es decir que hay un día de fiebre dos o tres sin fiebre y después vuelve a aparecer. Además de eso, la fiebre del Paludismo va con taquicardia, en cambio la tifoidea casi siempre, la fiebre ocurre pero el corazón no late más rápido aunque halla fiebre, eso es lo que se llama bradicardia relativa.</p> <p>Con el Dengue, la diferencia con tifoidea es casi siempre que hay dolor que el paciente refiere como detrás de los ojos (dolor retrocular), pueden haber hemorragias en las encías y la nariz, las plaquetas pueden bajar de su número normales (de 150,000 a 250,000) y lo otro es que al investigar los antecedentes epidemiológicos, en el Dengue siempre hay historia de zancudos, en la tifoidea prácticamente no los hay. La otra diferencia es que la fiebre que produce la Fiebre tifoidea son de larga evolución (dos semanas, diez días), en cambio el Dengue son periodos cortos (5 días de fiebre).</p>

El resultado es la parametrización del concepto *fiebre* (ver cuadro 4.4.8) y los hechos específicos para dengue, fiebre tifoidea y paludismo.

Cuadro 4.4.8. Tabla concepto / atributo / valor del concepto fiebre:

CONCEPTO PRIMARIO	Signos	
CONCEPTO SECUNDARIO	ATRIBUTO	VALOR
Fiebre	Evolución	Aguda (< 2 semanas) Crónica (>= 2 semanas)
	Frecuencia	Intermitente, Continua
	Intensidad	Leve, Fuerte
	Temperatura	>= 37.5oC <= 41°C

Para simplificar el ejemplo solo se presentan la definición de todos los hechos específicos del concepto primario *signos* y sus conceptos secundarios (incluyendo el concepto *fiebre*), para el caso de la fiebre tifoidea.

Cuadro 4.4.9. Hechos específicos de la Fiebre tifoidea.

Estructura	Signos						
Atributo	Tipo de atributo (Estructura)	Valor del atributo					
		Campo	Tipo	Valor	Valor asociado	Rango de valores permitidos	
Tipo	Signo_primario	Nombre	Estructura	Fiebre			
	Signo_diferencial	Nombre	Estructura	Bradicardia_Relativa Esplenomegalia Hepatomegalia Ictericia			
Nombre	Bradicardia_relativa	Presenta	Estructura	Fiebre Pulso			
	Esplenomegalia	Presencia	Lógico	CIERTO		CIERTO, FALSO	
	Hepatomegalia	Presencia	Lógico	CIERTO		CIERTO, FALSO	
	Fiebre	Evolución	Numérico	>0 and <= 2 semanas	Aguda Crónica	>0 and <= 2 semanas > 2 and <=3 semanas > 3 semanas	
				> 2 and <=3 semanas			
				Fuerte			Fuerte, leve
				Continua			Intermitente, continua
	Temperatura	Numérico	>37.5 and <=41°C			>=37.5 and <= 41°C	
			Ictericia	Presencia	Lógico	CIERTO	
	Pulso	Frecuencia	Numérico	>=60 and <=100 lat/min		Normal	<60 at/min >=60 and <=100 lat/min >100 lat/min
Débil				Débil, normal			
Sudoroso	Presencia	Lógico	CIERTO		CIERTO, FALSO		

## 5. VERIFICACION

El último paso del proceso de conceptualización es la verificación. Esta comprende la evaluación del conocimiento que pasará a la fase de formalización.

Este proceso se realizó mediante:<sup>67</sup>

- La *extracción de conocimiento profundo del experto médico* (que comprende las entrevistas 9 a la 13) y
- *La extracción estática de conocimientos.*

En la verificación se deben realizar validaciones para comprobar la consistencia del conocimiento adquirido. El propósito de minimizar subjetividades, incertidumbres, errores y fallas, cometidos por el experto médico y el IC.

Las comprobaciones realizadas fueron:

a. *Verificar los conceptos, atributos y valores.*

Comprobar que se conocen todos los conceptos del diccionario con sus atributos y valores. Todos los conceptos que serán usados en el modelo deben estar en la tabla concepto/atributo/valor. En caso de que existan otros, deben de estar descritos en el glosario de términos médicos.

Se debe examinar que todos los conceptos son utilizados en el modelo conceptual. Los que no son usados en esta versión se pueden mantener como parte del modelo conceptual a considerar en próximas versiones.

b. *Comprobar la consistencia de la relación entre conceptos (o mapa conceptual).*

Examinar que no exista ninguna relación causal que produzca incertidumbre al IC en la creación del mapa conceptual.

---

<sup>67</sup> Consultar tareas 2 y 3 del paso adquisición del conocimiento.

*c. Verificar el modelo de razonamiento del experto.*

Comprobar que el diagrama jerárquico de tareas y la estructura de control de las reglas, representan la estrategia usada por el experto médico.

Se examina que las reglas y los hechos son los usados por el experto y corresponden al caso específico.

*d. Minimizar la subjetividad y errores involuntarios.*

Eliminar la subjetividad del experto es inevitable, ya que el SE trata de simular experiencia del experto y como este percibe el problema del dominio; pero se deben de crear preguntas (a partir de entrevistas anteriores y libros) para contrastar información que produzca incertidumbre. Esto permite minimizar errores en los que puede incurrir de forma involuntaria el experto y el IC.

---

---

## **CAPITULO V: FORMALIZACION**

---

La formalización es la tercera fase del ciclo de vida. La fase tiene como propósito inicial expresar los conocimientos sobre el problema en estructuras de conocimiento. Las estructuras, permiten expresar formalmente la experiencia del experto médico, a través de una técnica de representación de conocimiento.

Esta fase también conlleva el diseño de la arquitectura del SE, en la que se describe el funcionamiento y la estructura general del motor de inferencia, la base de hechos y la base de conocimiento.

También se debe de desarrollar el diseño de la interfaz gráfica, que permita la interacción amigable y comprensible del usuario con el SE. Además se deberán especificar los requerimientos de desarrollo y operativos.

En este capítulo se presentan los resultados del proceso de formalización, separados en las siguientes secciones:

- 1. Formalización del conocimiento.**
- 2. Diseño de la arquitectura del SE.**

Para conocer el proceso completo de la fase de formalización, consultar documento ETAPA III, CAPITULO II, que se encuentra en el CD-ROM.



# 1. FORMALIZACION DEL CONOCIMIENTO

## 1.1 REPRESENTACION DEL CONOCIMIENTO

La primera tarea de la formalización es la selección de una técnica de representación de conocimiento, que permita aproximarse al lenguaje que utiliza el computador.

Para la selección se deben de tomar las consideraciones siguientes:

- El formalismo usado en la representación, debe ser el apropiado para describir el conocimiento y el proceso de inferencia del experto.
- La sintáctica y semántica refleje exactamente los aspectos estructurales más importantes de los conceptos usados por el experto.
- La técnica de representación y búsqueda tenga soporte en la herramienta de desarrollo seleccionada: CLIPS.

De acuerdo a estas consideraciones los formalismos de representación de conocimiento seleccionados son:

- **Sistemas de producción.**

Los sistemas de producción serán utilizados para el desarrollo de la base de conocimientos del SE.

La base de conocimiento estará formada por un conjunto de reglas de producción, obtenidas a partir del *conocimiento táctico*.

- **Redes semánticas**

Estas se utilizarán para la elaboración de los modelos de conocimiento. Las redes semánticas permiten:

1. Representar los conceptos.
2. Identificar las relaciones que expresan dependencias e inferencia.
3. Representar los atributos que describen cada concepto.

4. Asignar los valores de los atributos, que expresan la variación en el tiempo de la base de hechos del SE.

Además las redes semánticas facilitan la detección de errores y la comprensión del modelo por tratarse de una técnica de naturaleza gráfica.

## **1.2 MODELO DE CONOCIMIENTO**

Los modelos de conocimiento se utilizan para representar en dos dimensiones el cerebro de un experto cuando emite un juicio o toma una decisión. Representan el proceso de inferir conocimiento de los conceptos a través de los atributos y sus valores.

A continuación se presenta los modelos de conocimientos de primer y segundo nivel obtenidos del experto médico.

1.2.1 MODELO DE CONOCIMIENTO DE PRIMER NIVEL

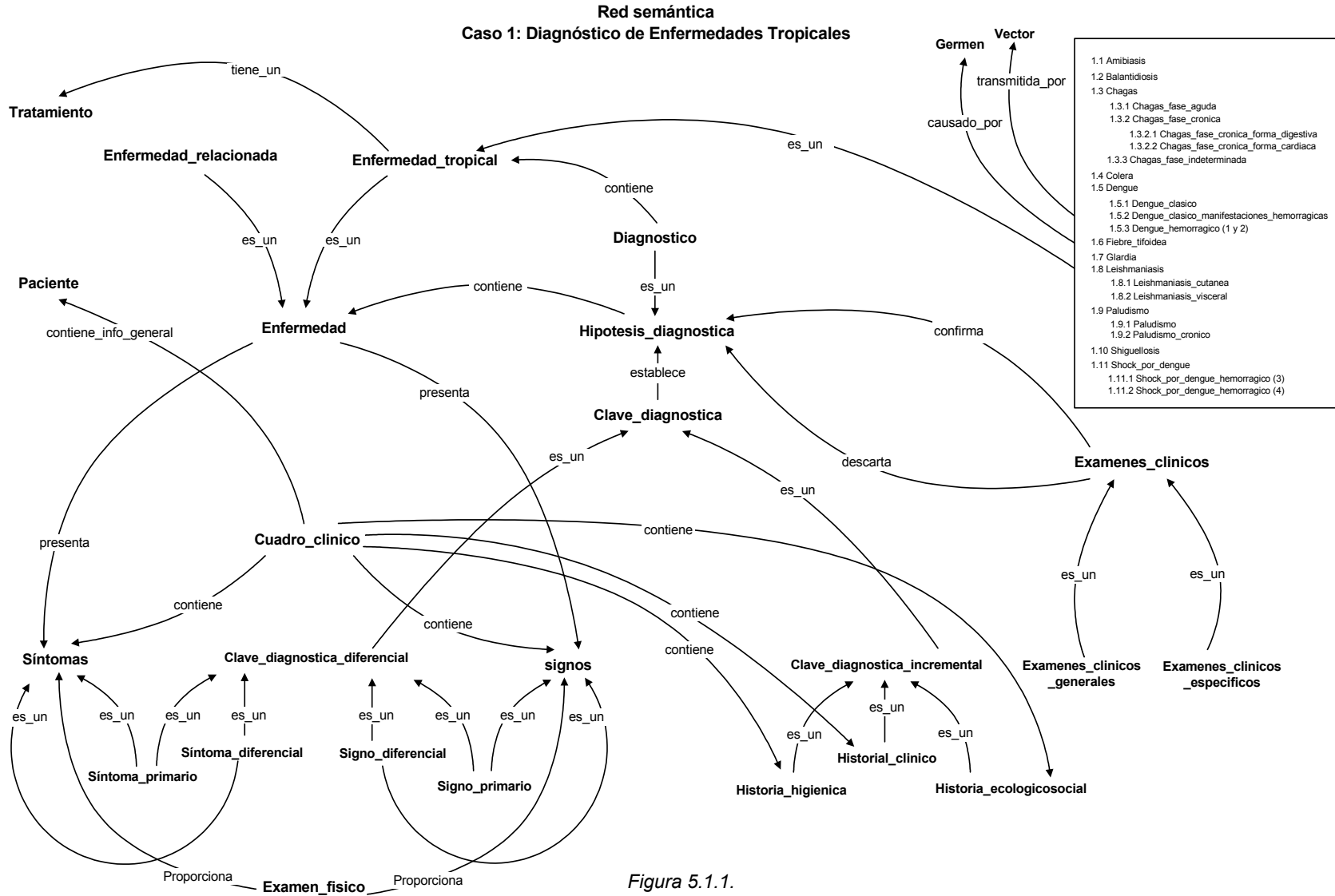


Figura 5.1.1.

## 1.2.2 MODELO DE CONOCIMIENTO DE SEGUNDO NIVEL

Estos modelos de segundo nivel son representaciones detalladas de los casos específicos del modelo de conocimiento de primer nivel (o modelo general) del experto médico que será el conocimiento base de la versión inicial del SE.

Se presentan los siguientes casos de modelos de conocimiento de segundo nivel:

- 1.1. Amibiasis
- 1.2. Balantidiasis
- 1.3. Chagas
  - 1.3.1. Chagas fase aguda
  - 1.3.2. Chagas fase crónica
    - 1.3.2.1. Chagas fase crónica forma cardiaca
    - 1.3.2.2. Chagas fase crónica forma digestiva
- 1.4. Cólera
- 1.5. Dengue
  - 1.5.1. Dengue clásico
  - 1.5.2. Dengue clásico con manifestaciones hemorrágicas
  - 1.5.3. Dengue hemorrágico (grado 1 y 2)
- 1.6. Fiebre tifoidea
- 1.7. Giardiasis
- 1.8. Leishmaniasis
  - 1.8.1. Leishmaniasis cutánea
  - 1.8.2. Leishmaniasis visceral
- 1.9. Paludismo
  - 1.9.1. Paludismo
  - 1.9.2. Paludismo crónico
- 1.10. Shigellosis
- 1.11. Shock por dengue
  - 1.11.1. Shock por dengue hemorrágico (grado 3)
  - 1.11.2. Shock por dengue hemorrágico (grado 4)

MODELO DE CONOCIMIENTO - SEGUNDO NIVEL

RED SEMANTICA  
 CASO 1.1: AMIBIASIS

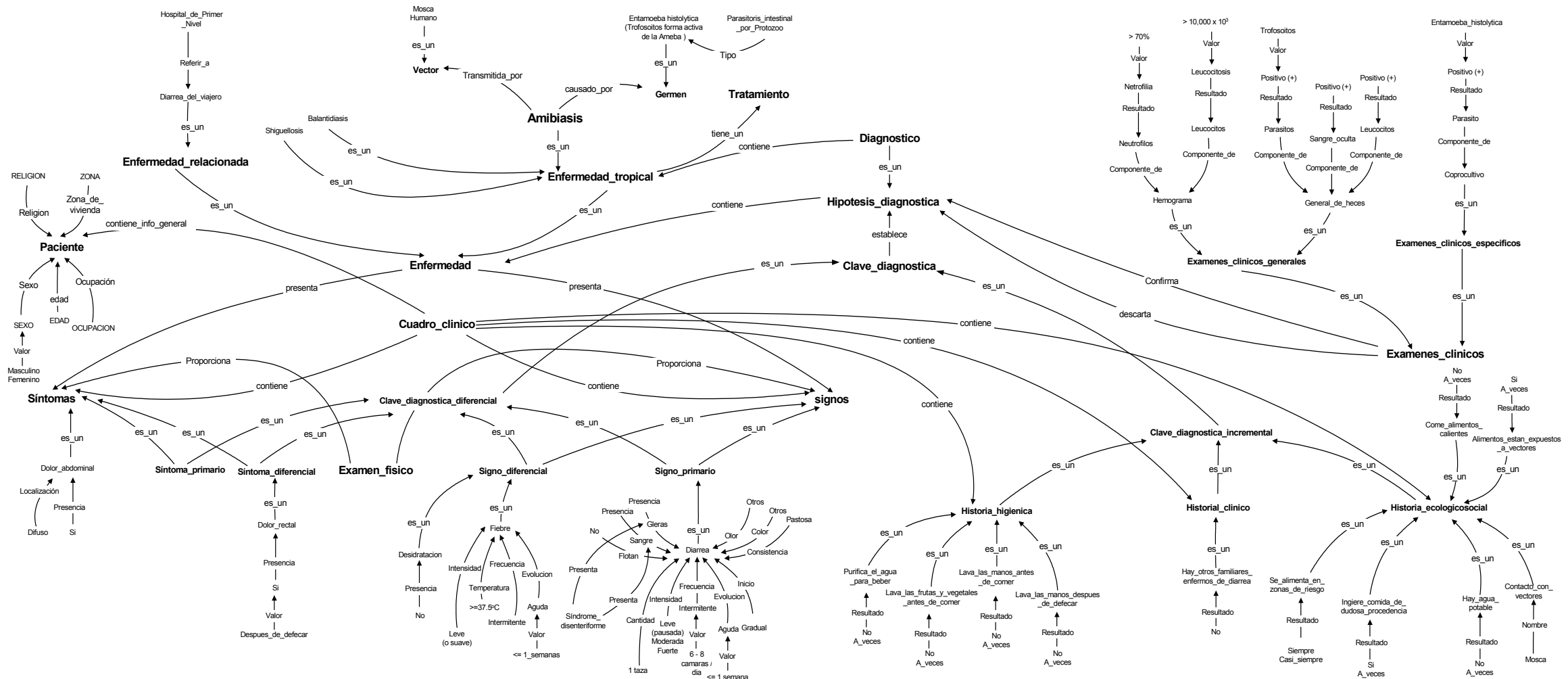


Figura 5.1.2.

MODELO DE CONOCIMIENTO - SEGUNDO NIVEL

RED SEMANTICA  
 CASO 1.2: BALANTIDIASIS

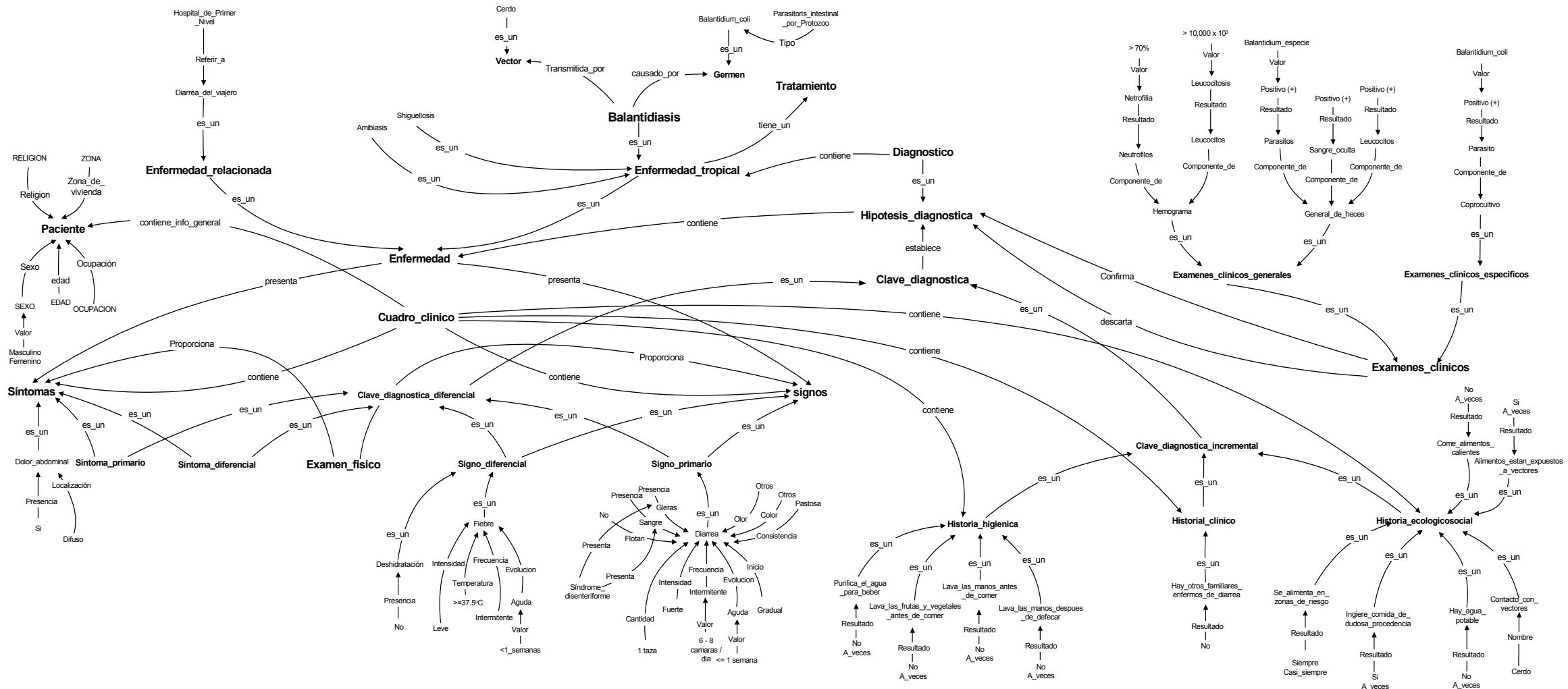


Figura 5.1.3.

MODELO DE CONOCIMIENTO - SEGUNDO NIVEL

RED SEMANTICA  
 CASO 1.3.1: CHAGAS FASE AGUDA

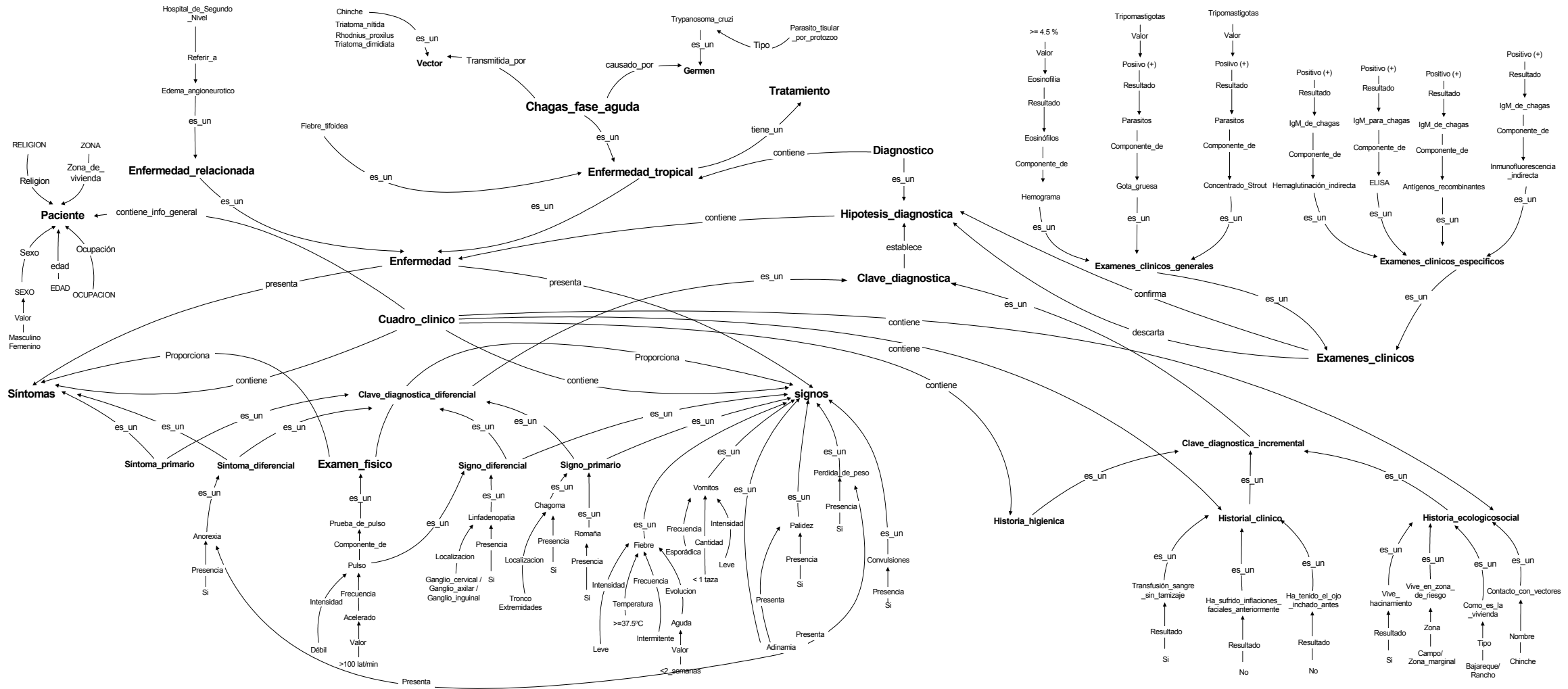


Figura 5.1.4.





MODELO DE CONOCIMIENTO - SEGUNDO NIVEL

RED SEMANTICA  
CASO 1.3.2.2: CHAGAS FASE CRONICA FORMA DIGESTIVA

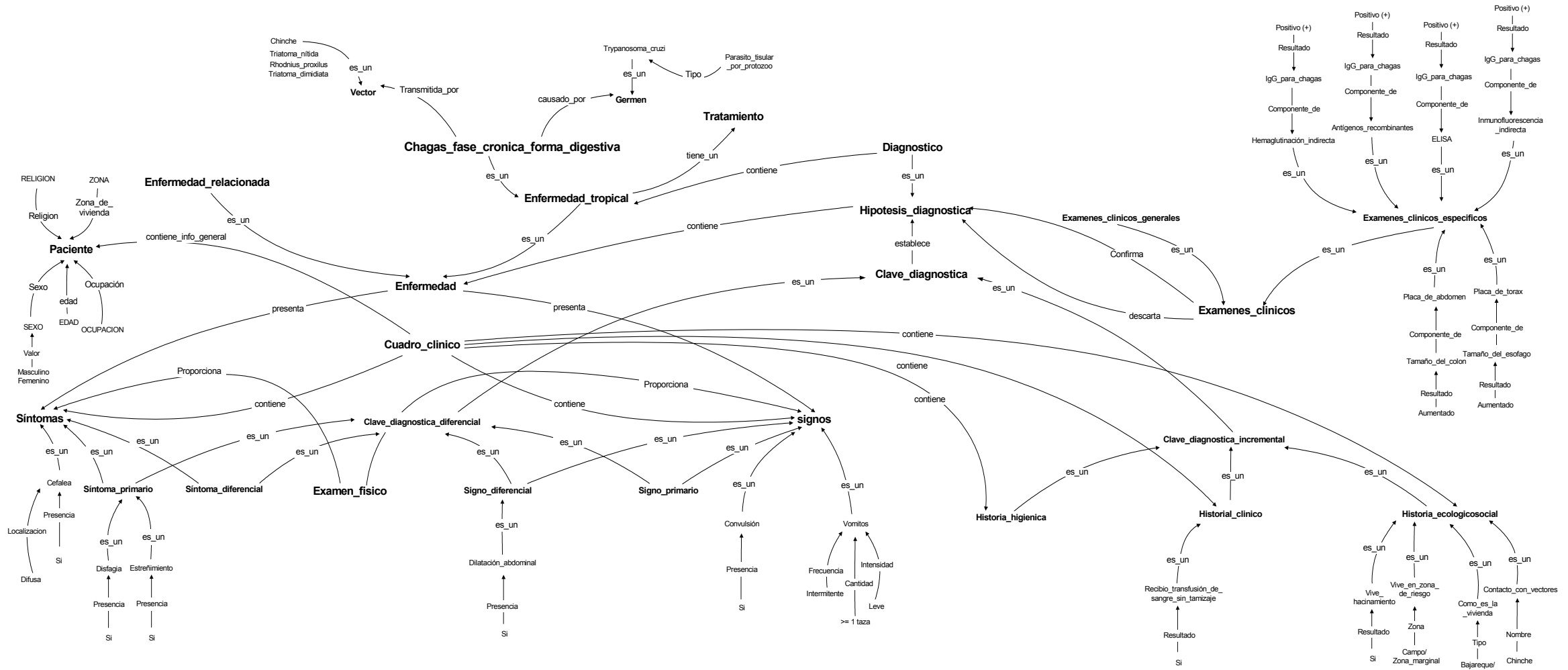


Figura 5.1.6.

MODELO DE CONOCIMIENTO - SEGUNDO NIVEL

RED SEMANTICA  
 CASO 1.4: COLERA

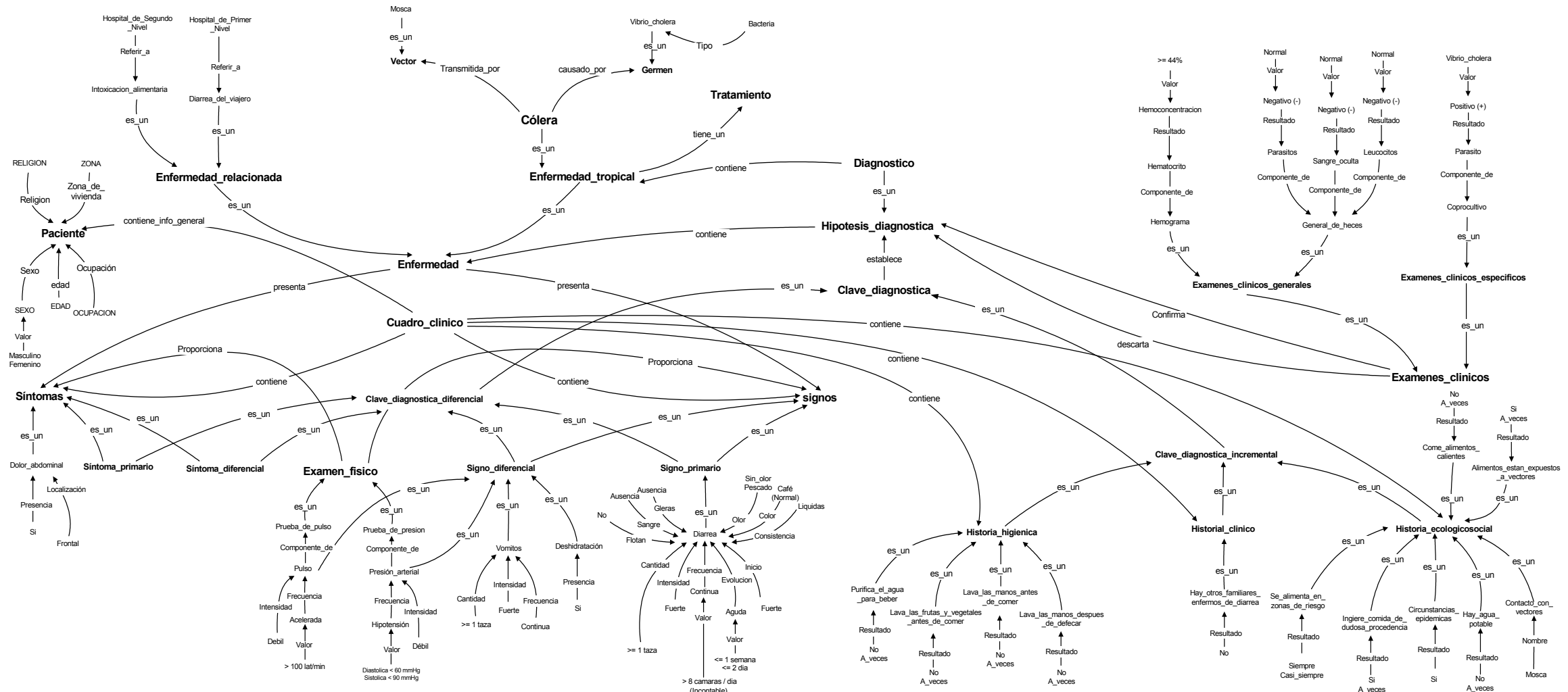


Figura 5.1.7.

MODELO DE CONOCIMIENTO - SEGUNDO NIVEL

RED SEMANTICA  
 CASO 1.5.1: DENGUE CLASICO

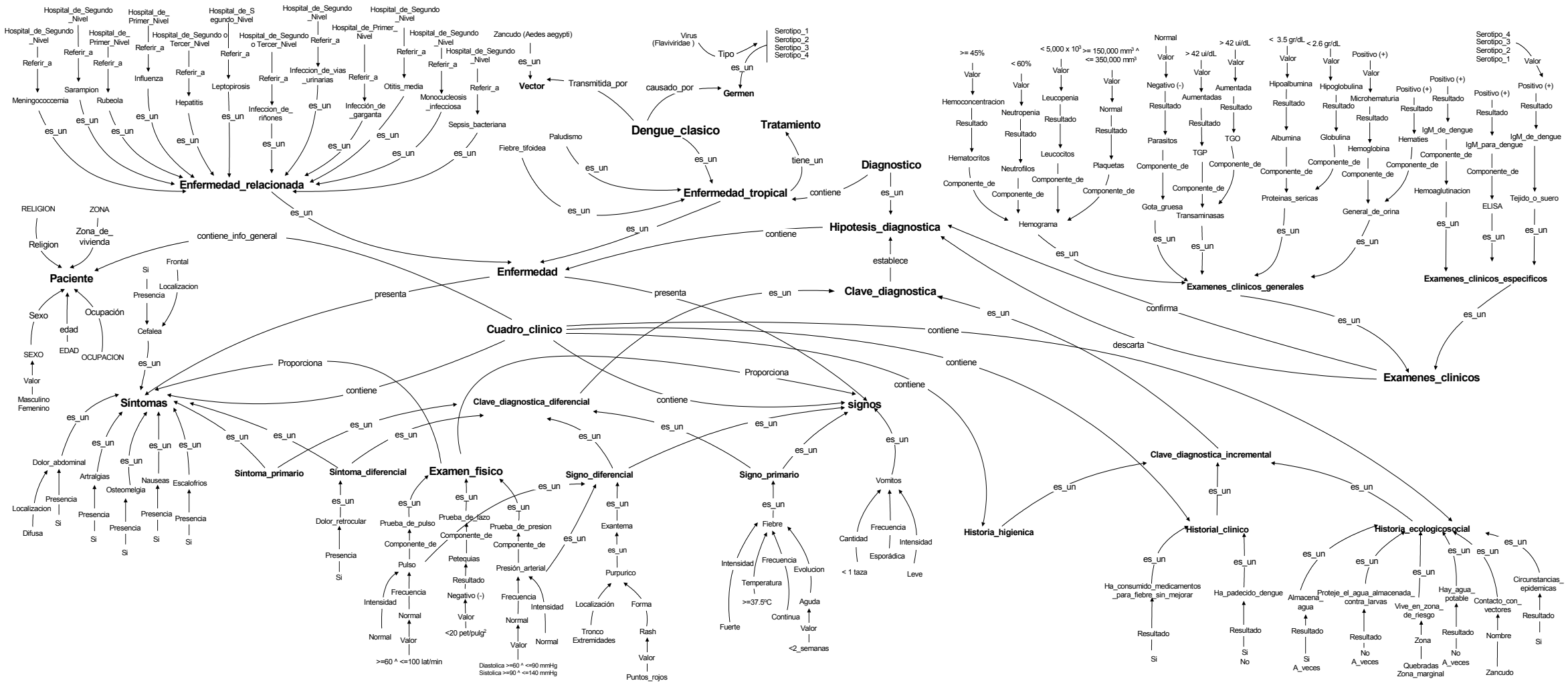


Figura 5.1.8.

MODELO DE CONOCIMIENTO - SEGUNDO NIVEL

RED SEMANTICA  
 CASO 1.5.2: DENGUE CLASICO CON MANIFESTACIONES HEMORRAGICAS

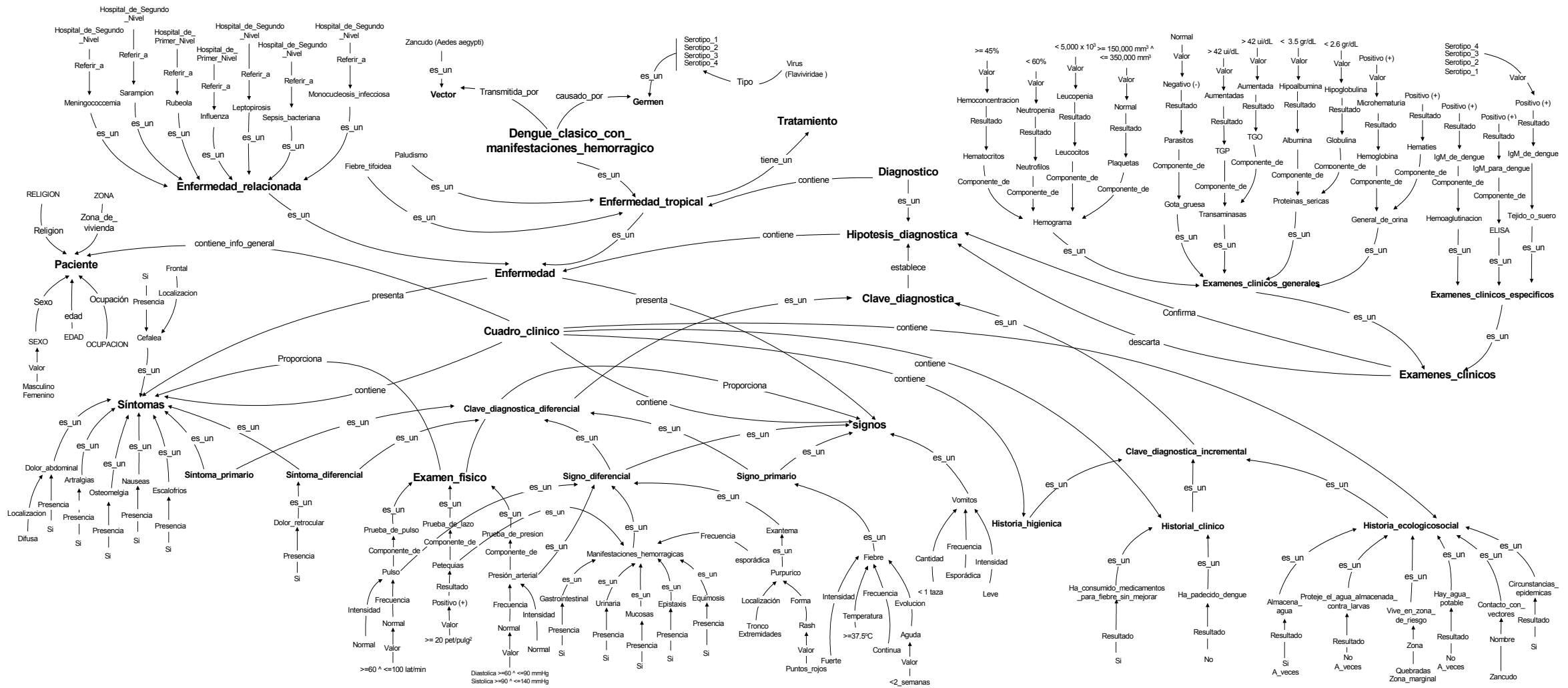


Figura 5.1.9.

MODELO DE CONOCIMIENTO - SEGUNDO NIVEL

RED SEMANTICA  
 CASO 1.5.3: DENGUE HEMORRAGICO (GRADO 1 Y 2)

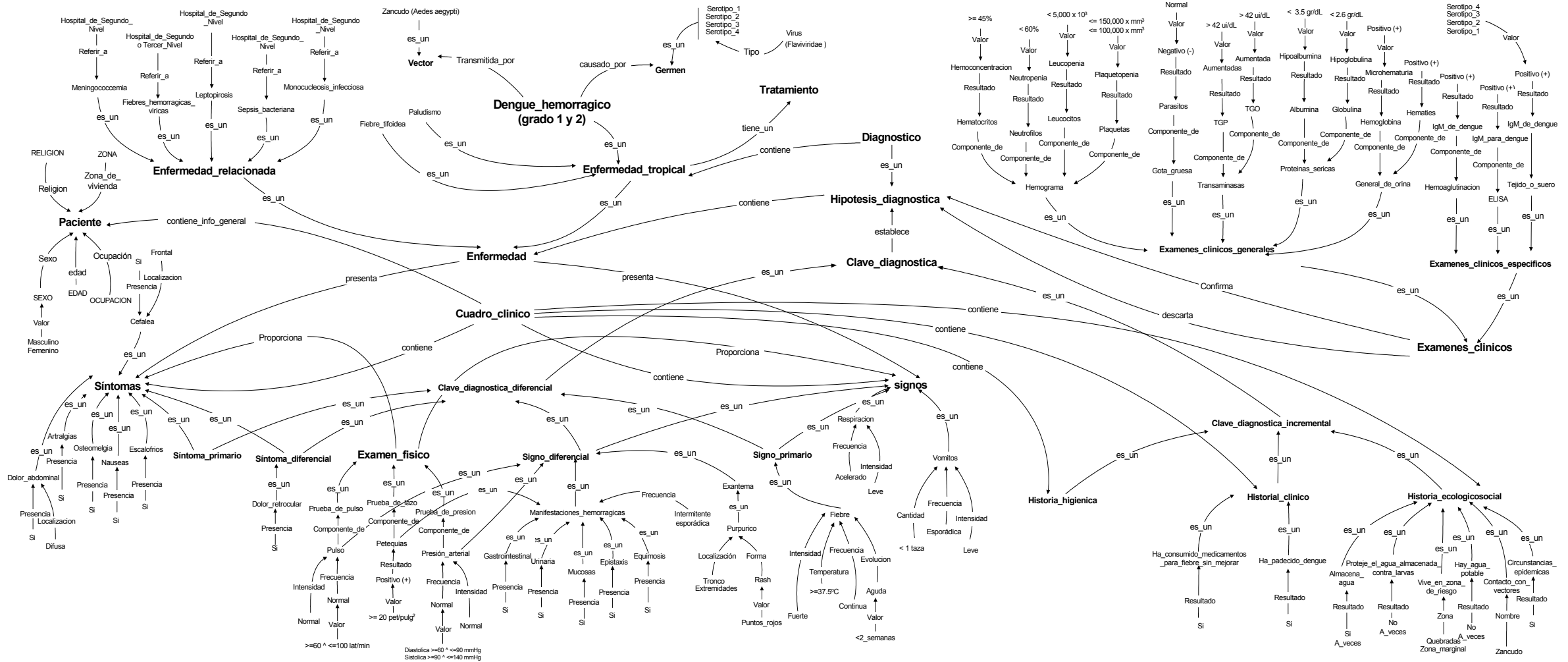


Figura 5.1.10.

MODELO DE CONOCIMIENTO - SEGUNDO NIVEL

RED SEMANTICA  
 CASO 1.6: FIEBRE TIFOIDEA

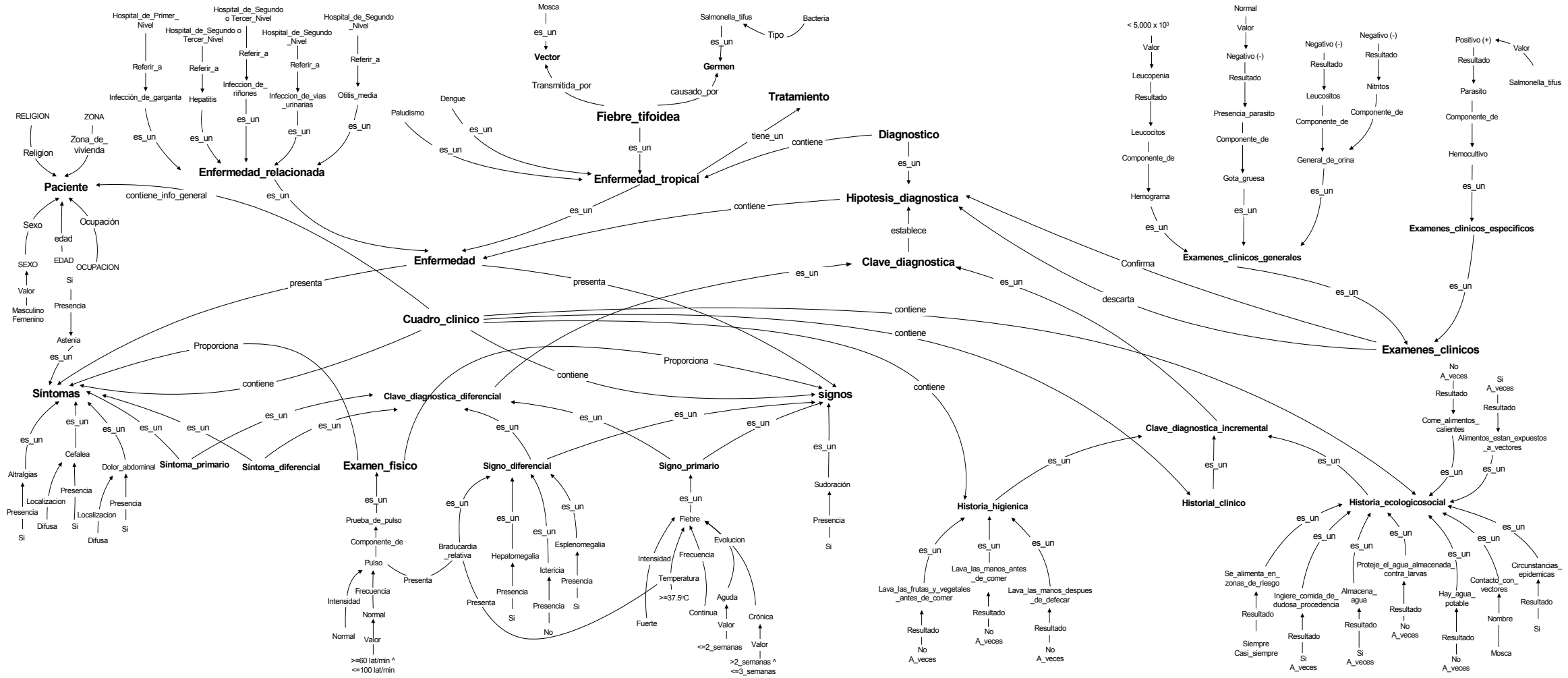


Figura 5.1.11.

MODELO DE CONOCIMIENTO - SEGUNDO NIVEL

RED SEMANTICA  
 CASO 1.7: GIARDIASIS

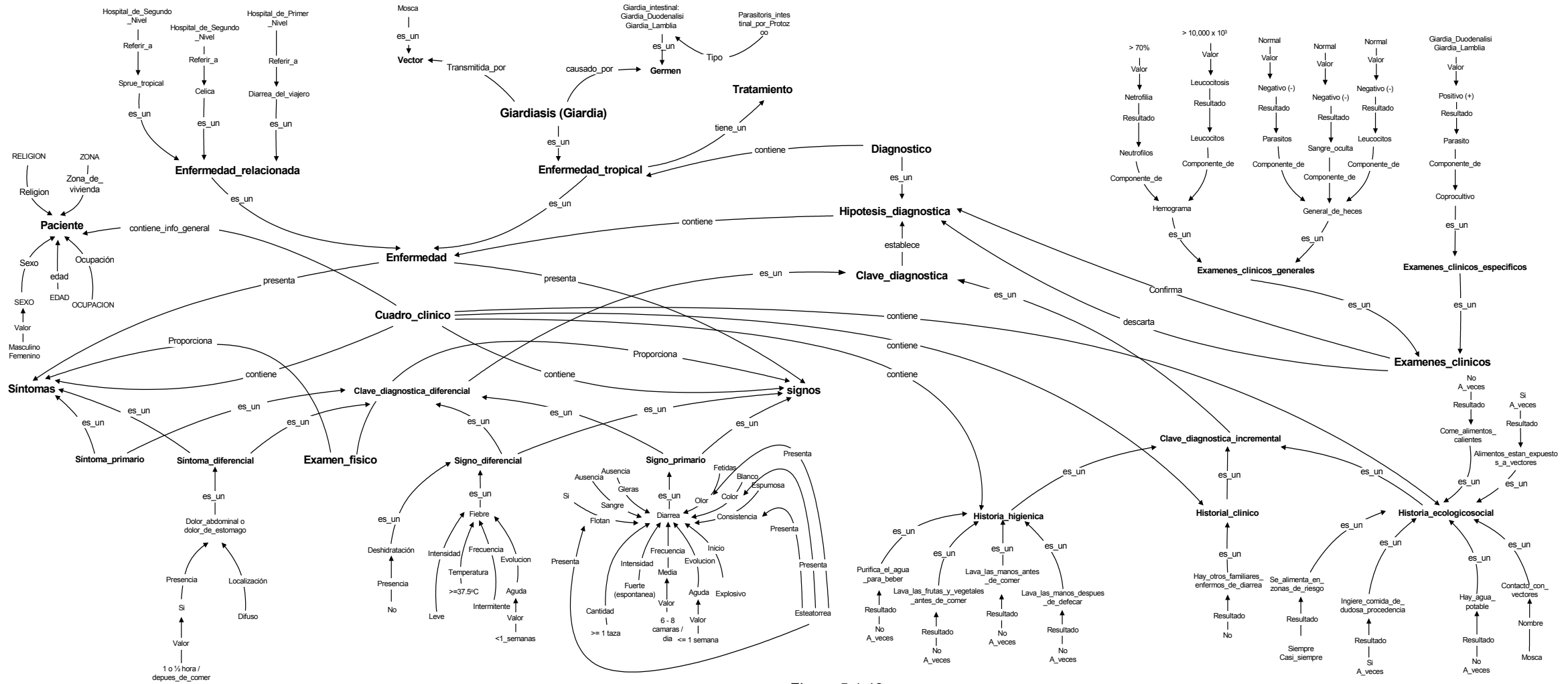


Figura 5.1.12.

MODELO DE CONOCIMIENTO - SEGUNDO NIVEL

RED SEMANTICA  
 CASO 1.8.1: LEISHMANIASIS CUTANEA

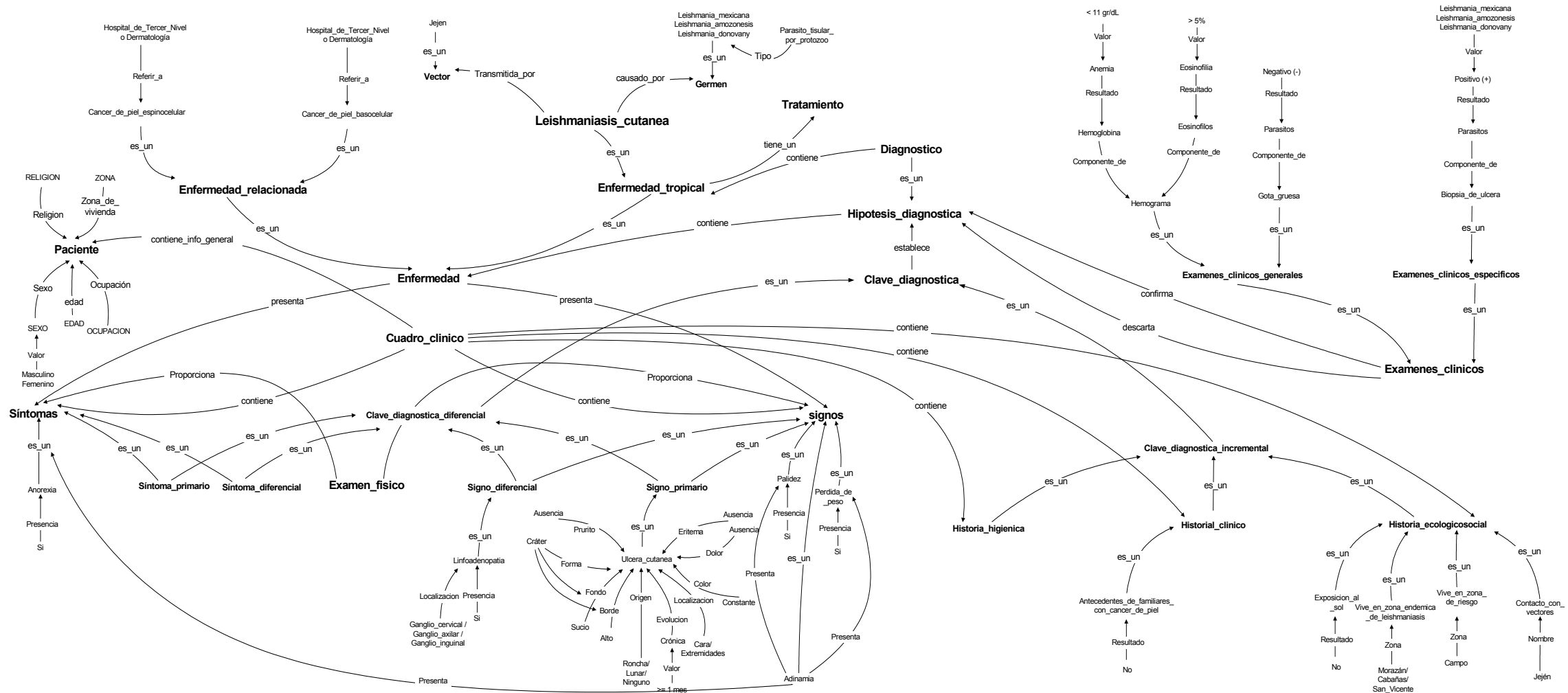


Figura 5.1.13.



MODELO DE CONOCIMIENTO - SEGUNDO NIVEL

RED SEMANTICA  
 CASO 1.8.2: LEISHMANIASIS VISCERAL

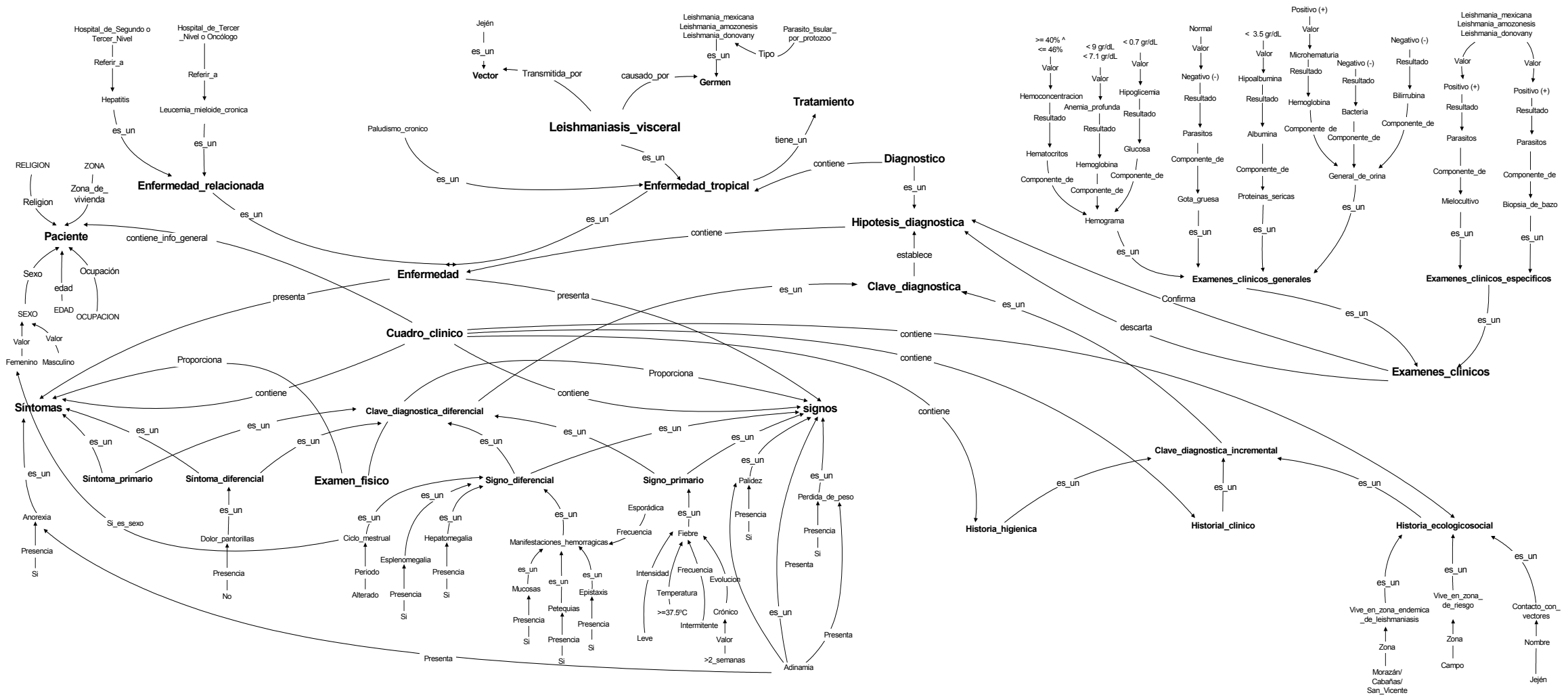


Figura 5.1.14.

MODELO DE CONOCIMIENTO - SEGUNDO NIVEL

RED SEMANTICA  
 CASO 1.9.1: PALUDISMO

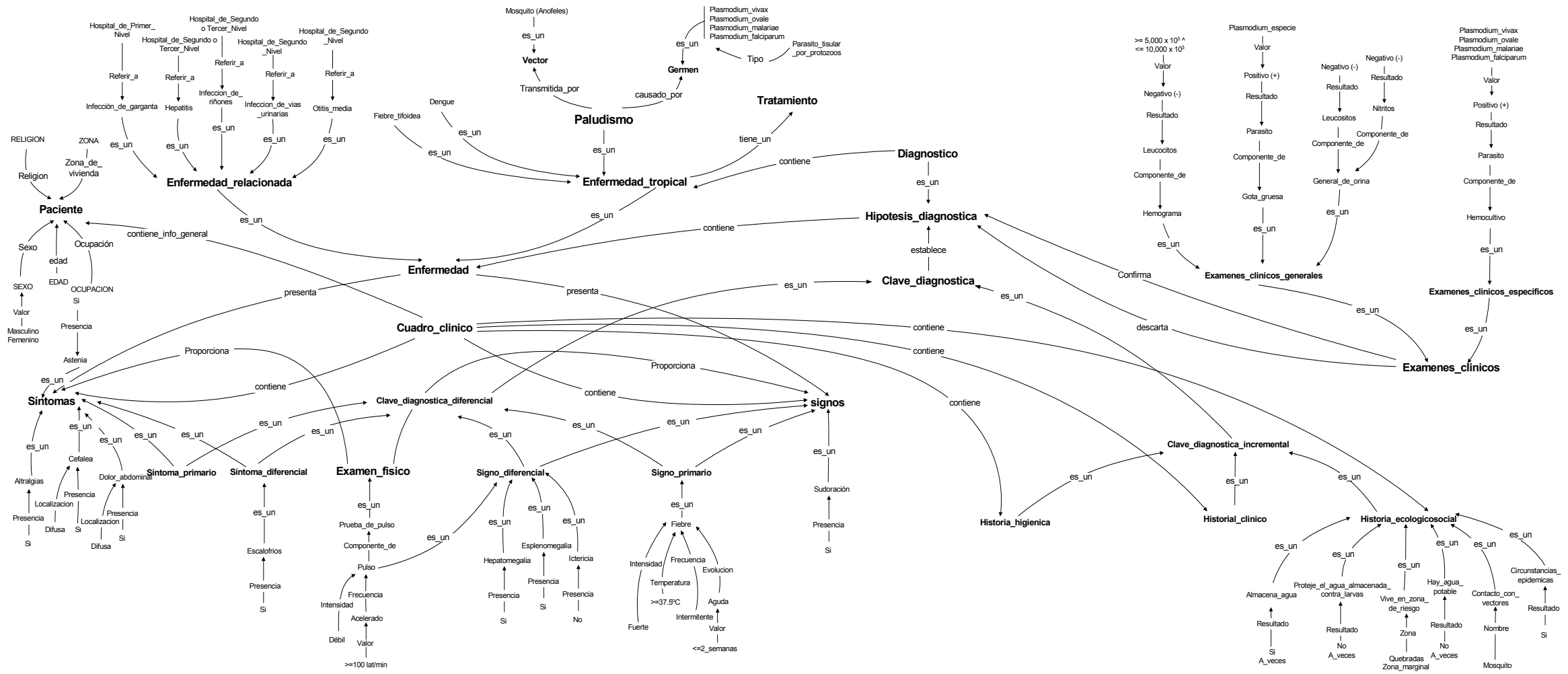


Figura 5.1.15.

MODELO DE CONOCIMIENTO - SEGUNDO NIVEL

RED SEMANTICA  
 CASO 1.9.2: PALUDISMO CRONICO

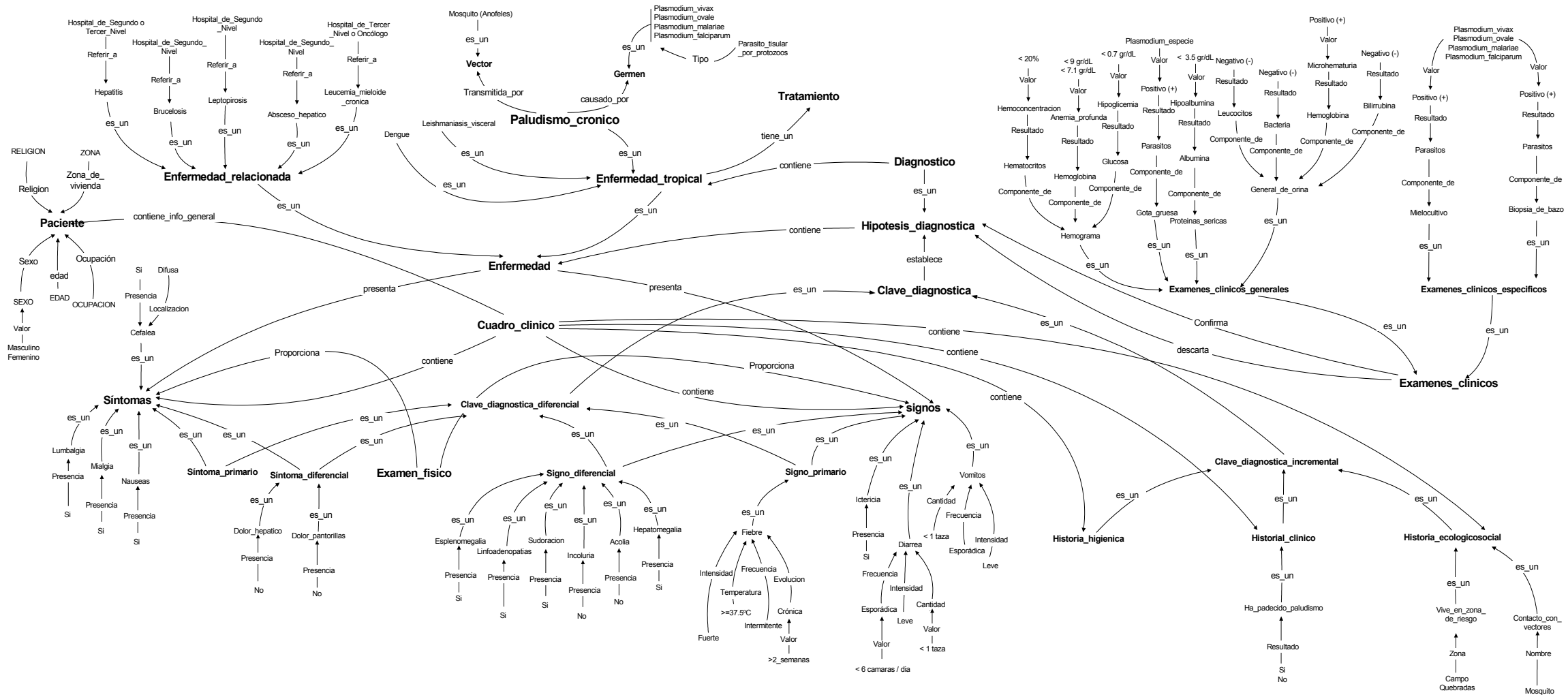


Figura 5.1.16.

MODELO DE CONOCIMIENTO - SEGUNDO NIVEL

RED SEMANTICA  
 CASO 1.10: SHIGUELLOSIS

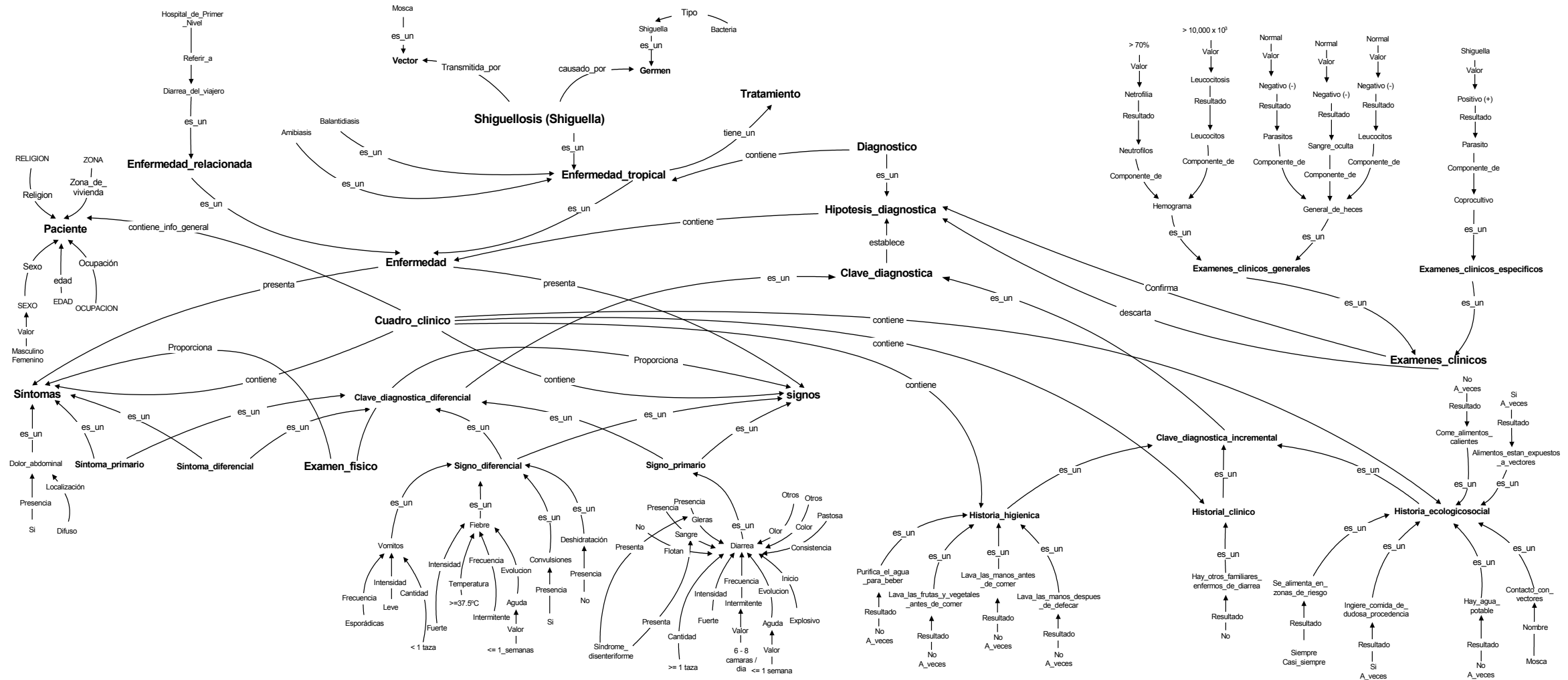


Figura 5.1.2.17

MODELO DE CONOCIMIENTO - SEGUNDO NIVEL

RED SEMANTICA  
 CASO 1.11.1: SHOCK POR DENGUE HEMORRAGICO (GRADO 3)

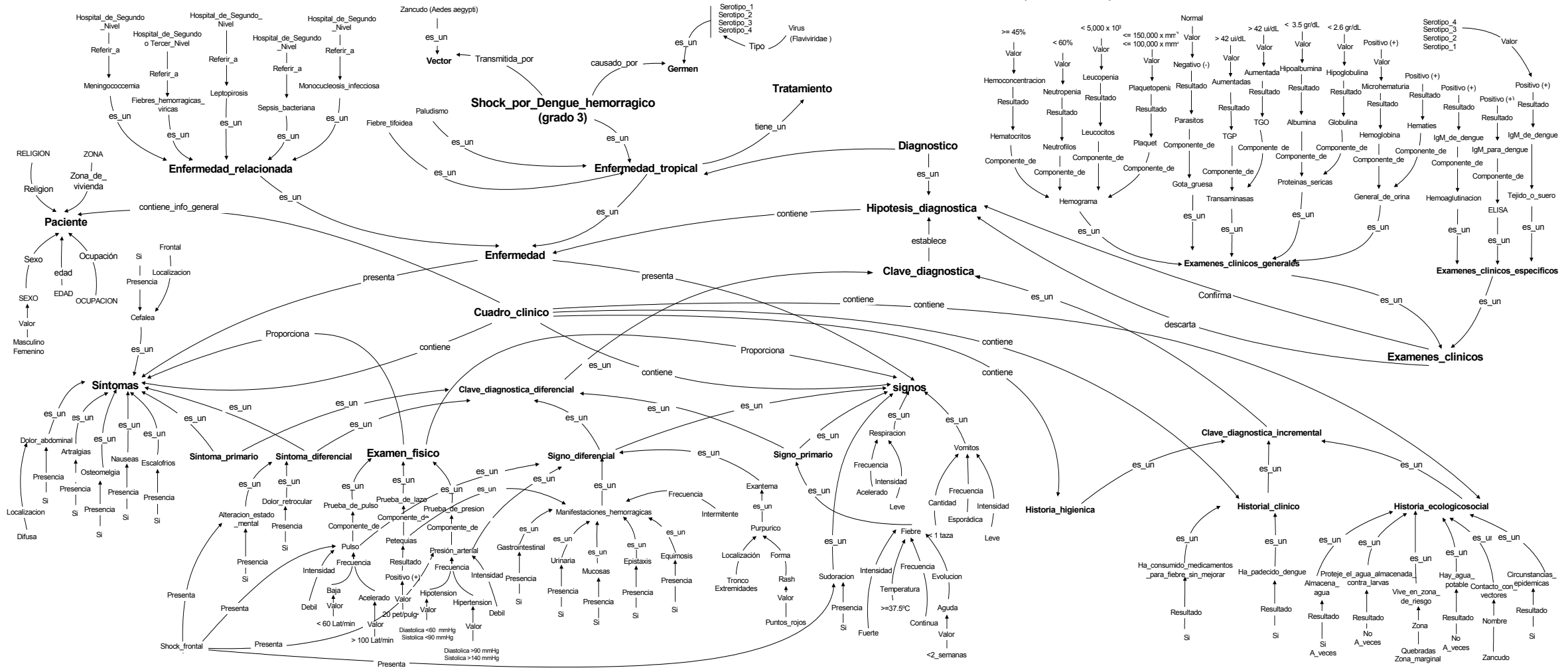


Figura 5.1.18.



## 2. DISEÑO DE ARQUITECTURA DEL SE

El *Sistema Experto para el Diagnóstico de Enfermedades Tropicales (SEDENTropic)* esta basado en la arquitectura proporcionada por CLIPS, que contiene los componentes básicos de la arquitectura de los SE, es decir:

- *Motor de inferencia*
- *Base de conocimiento*
- *Base de hechos*

Estos componentes deben de adaptarse a las necesidades de interpretación de hechos y reglas del modelo del conocimiento.

Además se debe de agregar un elemento indispensable del modulo de comunicación: *la interfaz de usuario*, que debe presentar y recibir información íntegra, manteniendo un formato sencillo y amigable. La interfaz de usuario incluye un módulo de explicación para justificar los resultados obtenidos por el SE.

A continuación se presenta la descripción de los principales elementos de la arquitectura de SEDENTropic (ver figura 5.2.1: diagrama de arquitectura):

1. Motor de inferencia
2. Base de conocimientos
3. Base de hechos
4. Interfaz de usuario

DIAGRAMA DE ARQUITECTURA DE SEDENTropic

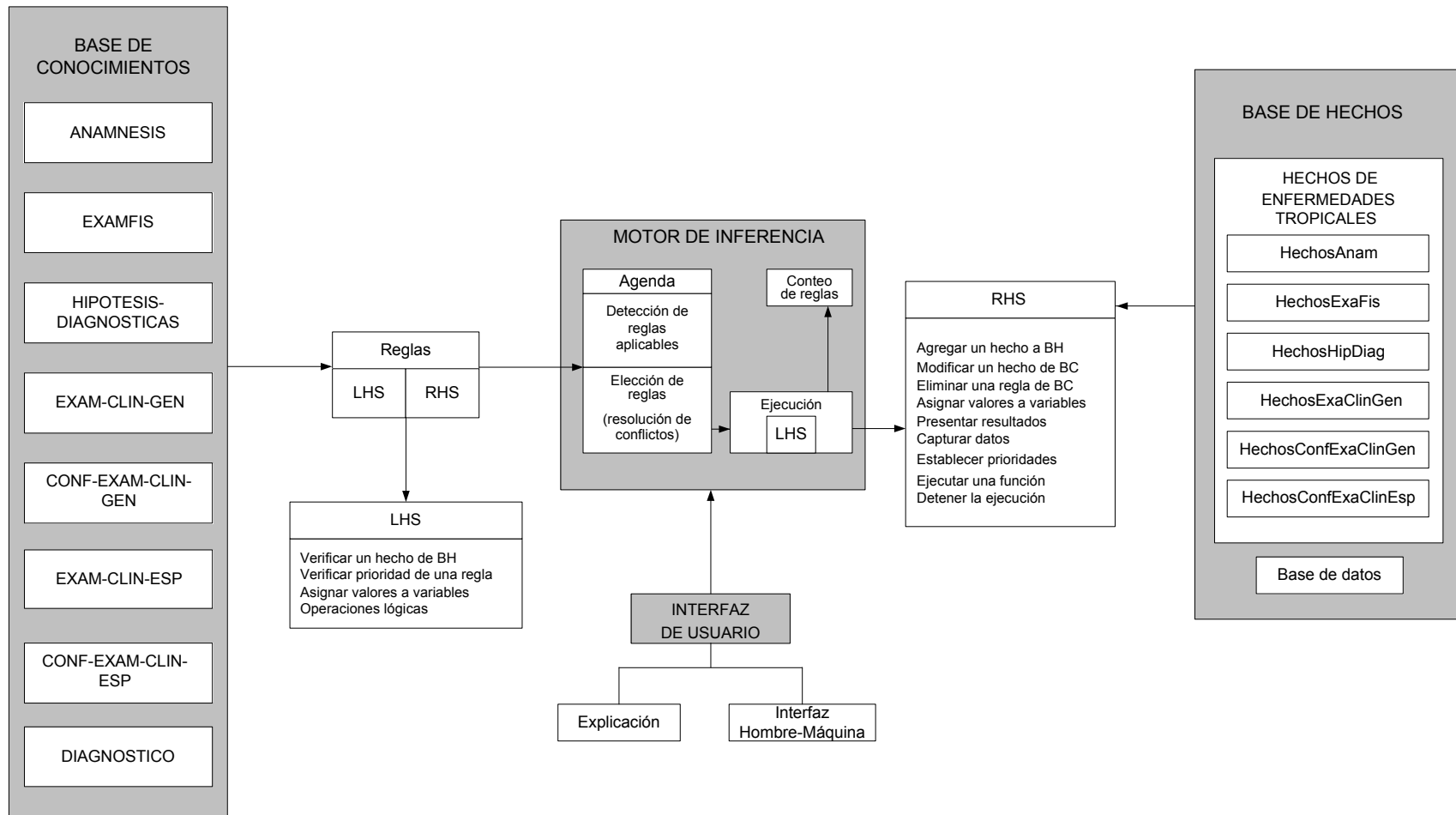


Figura 5.2.1.



## 2.1 MOTOR DE INFERENCIA

El motor de inferencia (MI) es el mecanismo de control de un SE. Este construye de forma dinámica las soluciones mediante la búsqueda y selección del conocimiento. El MI selecciona, decide, interpreta y aplica el conocimiento de la base de conocimientos (BC) sobre la base de hechos (BH) con el fin de obtener la solución buscada.

El MI utilizado en SEDENTropic es el implementado en la herramienta de desarrollo CLIPS, en el que son ejecutadas las reglas utilizadas por el experto médico, según la existencia de hechos definidos por el ingeniero de conocimiento (IC).

El MI utiliza el estado actual del conocimiento del sistema, representado por una lista de hechos y aplicación de la acción.

La estrategia de resolución de conflictos en SEDENTropic es la estrategia por *anchura*, por ser la que más se aproxima a la estrategia utilizada por el experto médico. Para más detalle de la estrategia de resolución, ver apartado *Motor de inferencia* del *CAPITULO VI*.

### 2.1.1 CICLO BASICO DE EJECUCION

Una vez construida la base de conocimientos en forma de reglas, y la lista de hechos ha sido inicializada, CLIPS esta listo para ejecutar las reglas.

El ciclo de ejecución básico se describe a continuación en los siguientes pasos:

1. Si el límite de reglas a aplicar se ha alcanzado, o el módulo no posee el enfoque, se detiene la ejecución. En otro caso, la primera regla de la lista presentada en la estructura Agenda (pila que contiene todas las reglas que fueron escogidas) es seleccionada para su ejecución.
2. Las acciones del lado derecho de la regla seleccionada (RHS), son ejecutadas. Se incrementa el contador de reglas ejecutadas, que es utilizado para monitorear que no sobrepasen el límite de reglas aplicadas.
3. Como resultado del paso 2, algunas reglas serán activadas o desactivadas. Las reglas activadas, son colocadas en la Agenda. La posición de la regla en la Agenda, es determinada por su calidad y por la estrategia de resolución de conflictos. Las reglas desactivadas son eliminadas de la Agenda.

4. Si se utiliza la evaluación de prioridad dinámica de las reglas (en el caso de que se haya asignado un peso de prioridad), se reevalúan los pesos de prioridad de las reglas en la agenda y se ejecuta de nuevo el paso 1.

## 2.2 BASE DE CONOCIMIENTO

Es un depósito de hechos fundamentales relacionados como reglas. En CLIPS, la BC es almacenada en un archivo de texto con extensión ".clp".

Las reglas que contiene la BC son las premisas del razonamiento del experto médico. En las reglas se establece la prioridad de los hechos y las preguntas necesarias para guiar el proceso de diagnóstico.

La definición de una regla se realiza mediante la instrucción *defrule*, seguido del nombre de la regla.

El resto de la definición de la regla está dividido en dos partes:

- La parte de antes del símbolo [=>]

Se conoce como parte izquierda de la regla (LHS, por sus siglas en inglés: Left Hand Side) y está compuesta por patrones, que son cada una de las condiciones que se deben cumplir en la BH para que la regla se active.

- La parte que aparece posterior al símbolo [=>]

Se denomina parte derecha de la regla (RHS por sus siglas en inglés: Right Hand Side) y está formada por cada una de las acciones que tendrán lugar cuando todos los patrones de la parte izquierda se correspondan con hechos de la base de hechos.

Los módulos de la BC son aquellas tareas y subtareas que conllevan un proceso de razonamiento, especificado en el *diagrama jerárquico de tareas del experto médico*. Los módulos que constituyen la base de conocimiento son los descritos en el cuadro 5.2.1.

Cuadro 5.2.1. Módulos de la base de conocimiento.

Nc	MODULO	OBJETIVO	SUB-TARE/ ASOCIADA
1.	ANAMNESIS	En este módulo se realizan las preguntas de anamnesis. Anamnesis es el proceso por el cual el médico obtiene la información del paciente. Los datos que se obtienen en este proceso, son del historial del paciente y no involucran contacto físico.	1.1.2 y 1.1.3
2.	EXAMFIS	En este módulo el médico recopila la información del examen físico, todos aquellos signos que se pueden percibir en el paciente al momento de la consulta.	1.1.2
3.	HIPOTESIS- DIAGNOSTICAS	El propósito de este módulo es determinar las hipótesis diagnósticas que el sistema es capaz de emitir, utilizando las claves diagnósticas recibidas.	1.2
4.	EXAM-CLIN-GEN	El objetivo de este módulo es prescribir los exámenes clínicos generales y específicos que se utilizarán para mantener o descartar una hipótesis diagnóstica.	2.1
5.	CONF-EXAM- CLIN-GEN	En este módulo se obtienen los resultados de los exámenes clínicos generales y se confirman, mantienen o descartan hipótesis diagnósticas.	2.2
6.	EXAM-CLIN-ESP	El propósito de este módulo es prescribir los exámenes clínicos específicos que no hayan sido considerados en el módulo de EXAMENES-CLINICOS y que sean necesarios para confirmar una hipótesis diagnóstica.	2.3
7.	CONF-EXAM- CLIN-ESP	El objetivo de este módulo es obtener los resultados de los exámenes específicos para confirmar una hipótesis.	2.2
8.	DIAGNOSTICO	Al obtener una hipótesis confirmada, el módulo emite el diagnóstico final.	2.4

## 2.3 BASE DE HECHOS

La BH en su estado inicial es el conocimiento acerca del dominio de aplicación del SE (ontología general), que luego se transforma en una BH que describe la ontología del caso específico del que se trate.

La solución de un problema se obtiene a través de la aplicación de la BC sobre los hechos. Se denominan hecho a una declaración que relaciona elementos de la realidad con referencia al área

específica. Corresponde a la información que es invariable de una a otra resolución. La BH en CLIPS, está incluida también en un archivo con extensión ".clp".

En la implementación de los hechos se utiliza la declaración de hechos no ordenados (Non-ordered facts). Para esto se utiliza el constructor *deftemplate*, el cual se define el nombre de una plantilla que contiene campos nombrados (llamados *slots*), en los que serán introducidos los valores.

Como se muestra en el cuadro 5.2.2, los hechos estarán agrupados en módulos de acuerdo al módulo de la base de conocimiento en el que se utilicen.

Cuadro 5.2.2. Módulos de la base de hechos.

Nº	MODULO	DESCRIPCION
1.	HechosAnam	Se definen los hechos que utilizará inicialmente el modulo de ANAMNESIS para realizar las preguntas y obtener las claves diagnósticas del paciente.
2.	HechosExaFis	Se encuentran los hechos que se utilizan para obtener las claves diagnósticas a través del modulo EXAMFIS.
3.	HechosHipDiagl	Se especifican los hechos que corresponden a las hipótesis diagnósticas de enfermedades tropicales y las enfermedades relacionadas.
4.	HechosExaClinGen	Se establecen los hechos de los exámenes clínicos generales y específicos que el paciente debe tomar.
5.	HechosConfExaClinGen	Se definen los hechos necesarios para preguntar los valores obtenidos en los exámenes generales.
6.	HechosConfExaClinEsp	Se especifican los hechos para obtener los resultados de los exámenes clínicos generales, para confirmar hipótesis.

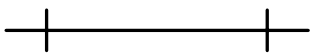
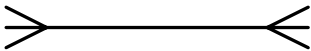
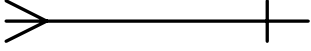
### 2.3.1 BASE DE DATOS

La base de datos (BD) de SEDENTropic es un componente de la BH, en la que se almacenan los datos generales del paciente que se ingresa al SE. Estos datos del paciente son parte de los hechos iniciales.

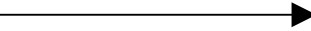
También la BD esta destinada a almacenar: el cuadro clínico y el diagnóstico generado, que serán utilizados por el SE para generar consultas.

Además la BD actúa como una BH de largo plazo. Permite actualizar la BH del SE para continuar con el proceso de diagnóstico. En las figuras 5.2.2 y 5.2.3 se presentan el modelo lógico y físico de la base de datos.

Cuadro 5.2.4. Convenciones utilizadas para el modelo lógico.

SIMBOLO	DESCRIPCION					
	Cardinalidad de uno a uno.					
	Cardinalidad de muchos a muchos.					
	Cardinalidad de muchos a uno.					
<table border="1" data-bbox="302 850 651 1041"> <tr> <td>Nombre de la tabla</td> </tr> <tr> <td>Nombre campo 1</td> </tr> <tr> <td>Nombre campo 2</td> </tr> <tr> <td>...</td> </tr> <tr> <td>Nombre campo N</td> </tr> </table>	Nombre de la tabla	Nombre campo 1	Nombre campo 2	...	Nombre campo N	<p>El encabezado de la tabla contiene el nombre de la tabla.</p> <p>Las filas contienen el nombre de los campos de la tabla.</p>
Nombre de la tabla						
Nombre campo 1						
Nombre campo 2						
...						
Nombre campo N						

Cuadro 5.2.5. Convenciones utilizadas para el modelo físico.

SIMBOLO	DESCRIPCION					
PK	Identifica la llave primaria de la tabla.					
FK	Identifica la llave foránea de la tabla.					
 Llave_Foranea = Llave_Primary	A través de la igualdad se indica la dependencia entre las tablas.					
<table border="1" data-bbox="302 1583 651 1774"> <tr> <td>tNombreTabla</td> </tr> <tr> <td><b><u>nombreCampo1</u></b> Tipo de dato</td> </tr> <tr> <td>nombreCampo2 Tipo de dato</td> </tr> <tr> <td>...</td> </tr> <tr> <td>nombreCampoN Tipo de dato</td> </tr> </table>	tNombreTabla	<b><u>nombreCampo1</u></b> Tipo de dato	nombreCampo2 Tipo de dato	...	nombreCampoN Tipo de dato	<p>El encabezado de la tabla contiene el nombre de la tabla.</p> <p>Las filas poseen el nombre de los campos y el tipo de dato.</p> <p>El campo llave primaria debe estar colocado en la primera fila de la tabla, en negrita y subrayado.</p>
tNombreTabla						
<b><u>nombreCampo1</u></b> Tipo de dato						
nombreCampo2 Tipo de dato						
...						
nombreCampoN Tipo de dato						

**MODELO LOGICO**

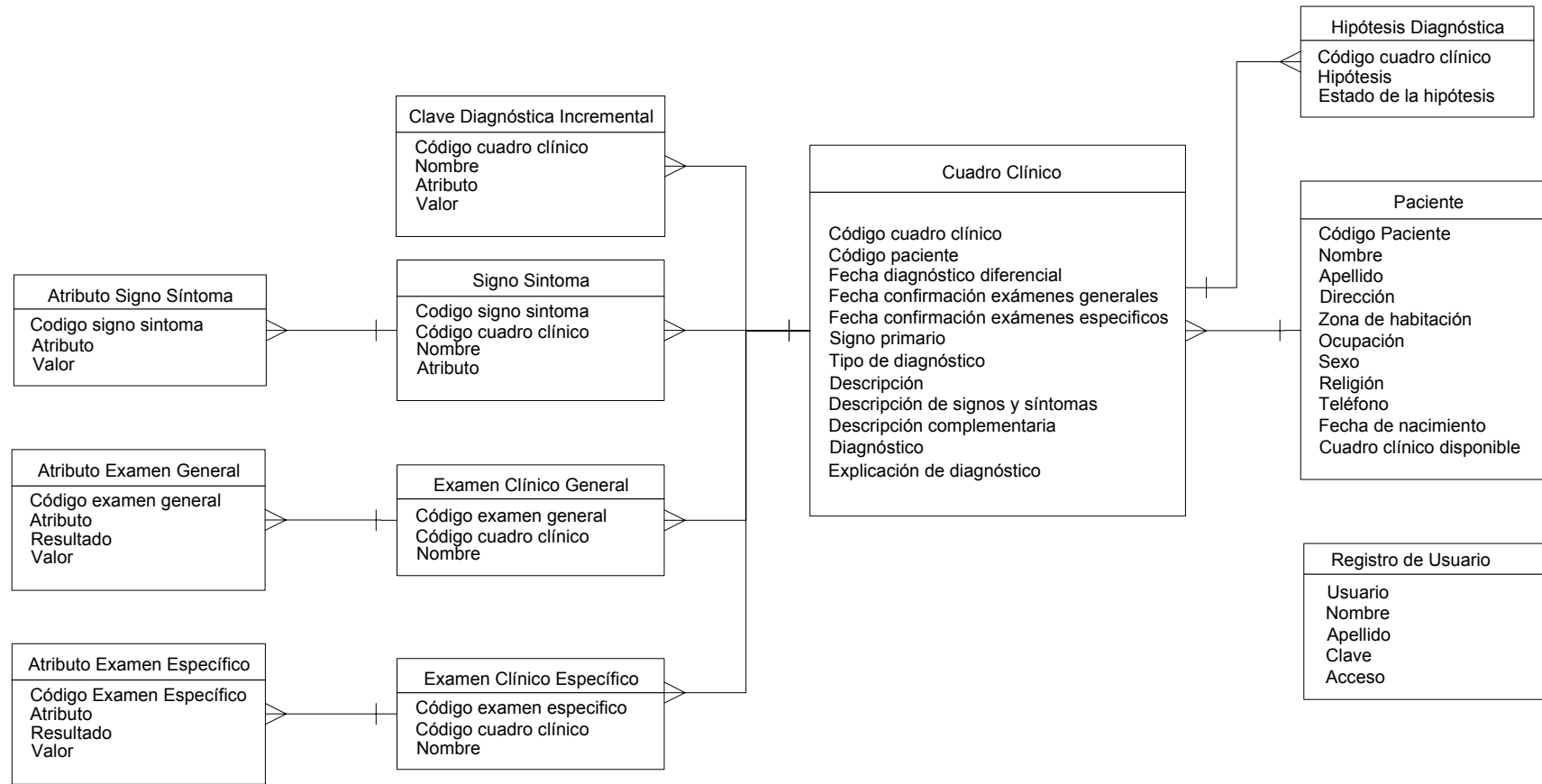


Figura 5.2.2.

MODELO FISICO

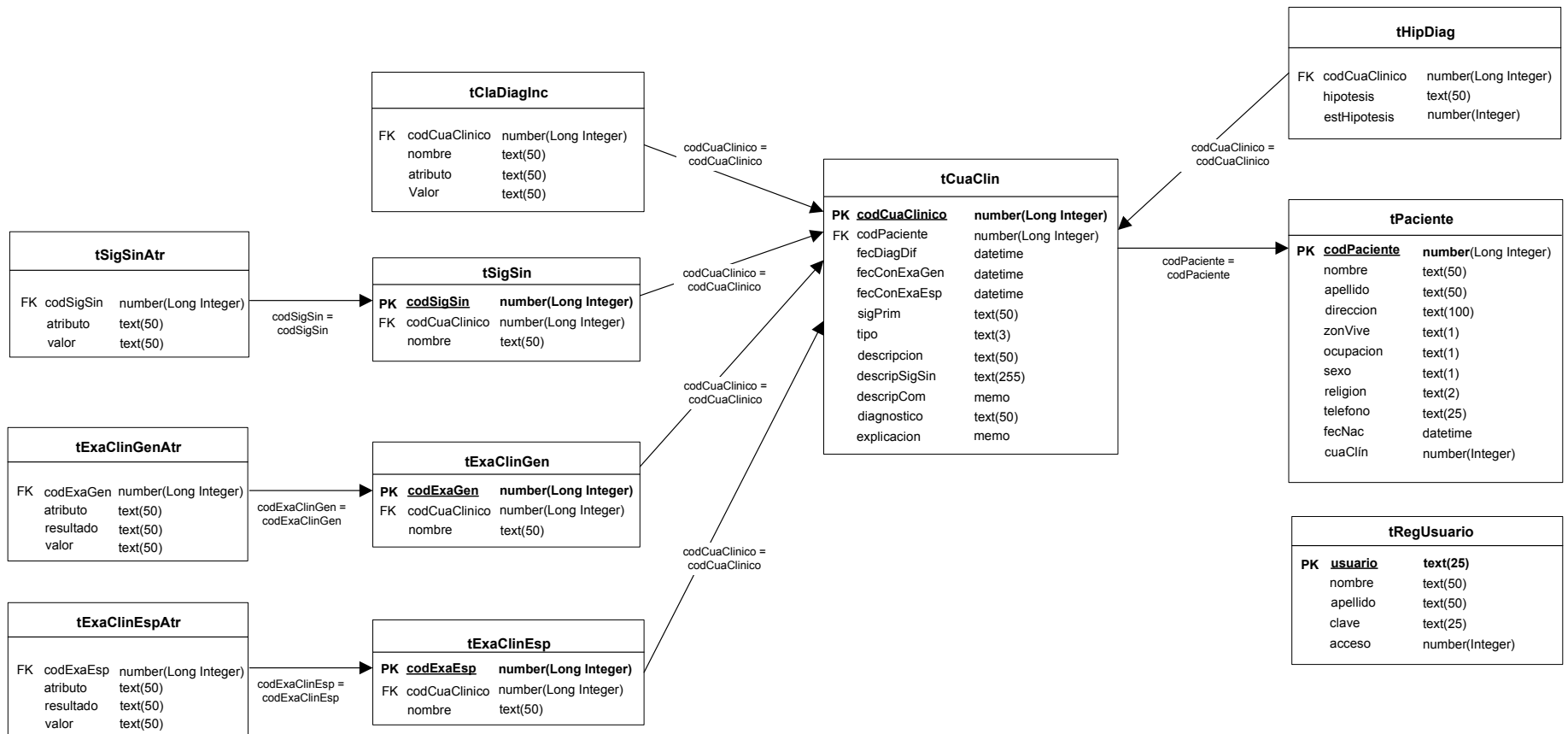


Figura 5.2.3.

## 2.4 INTERFAZ DE USUARIO

En un sistema tradicional, el diseño de interfaz de usuario tiene tres objetivos específicos:

- Identificar la relación entre los módulos que componen el sistema, cuando se trata de un diseño orientado a procesos, o la relación entre las clases y subclases, cuando se trata de un diseño orientado a objetos.
- Identificar la relación entre los módulos y la base de datos.
- Establecer la forma en que se realizará la comunicación entre el sistema y los usuarios.

Cada objetivo está asociado respectivamente a:

1. Diseño de interfaz externa.
2. Diseño de interfaz interna.
3. Diseño de interfaz hombre-máquina.

El diseño de la interfaz de un sistema experto, por su naturaleza de sistema inteligente, varía en relación con el diseño de la interfaz de un sistema tradicional. Estas diferencias deben ser tratadas bajo el criterio de mantener la esencia de los objetivos del diseño de interfaz.

A continuación se presentan el detalle de los tres componentes del diseño de interfaz gráfica:

### 2.4.1 DISEÑO DE INTERFAZ EXTERNA

En un SE la base de datos no es una parte fundamental de su arquitectura. Por lo que el diseño de interfaz externa tradicional, no es aplicable en este caso.

El diseño de la interfaz externa de un SE parte de la idea que la BH es conocimiento a corto plazo, y que la BC es el conocimiento a largo plazo. La BH tiene una estructura modular y está directamente relacionado con los módulos del SE. Esta relación puede ser descrita a través de la interfaz externa del sistema.

Todos los módulos de la base de hechos están relacionados directamente con los módulos de la base de conocimientos, de acuerdo al caso particular que se esté consultando. La base de datos tradicional está relacionada únicamente con los procesos que quedan fuera del razonamiento del experto.

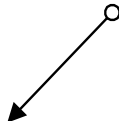
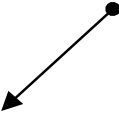

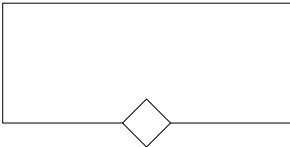


## 2.4.2 DISEÑO DE INTERFAZ INTERNA

El objetivo del diseño de la interfaz interna es mostrar el flujo de información entre los módulos del SE. Entre la información manipulada se tiene: control, datos de entrada y datos de salida. Para representar este flujo, se utiliza el diagrama arquitectónico del SEDENTropic.

En el diseño de la interfaz interna del SEDENTropic, se enfatiza la relación entre los módulos de la BC. Los módulos de la BC guían las acciones del SE, ya que refleja directamente el conocimiento táctico del experto.

Cuadro 5.2.1. Convenciones utilizadas para el diseño de interfaz interna:

SIMBOLO	DESCRIPCION
	Lo que se traspasa entre módulos es un control.
	Lo que se traspasa entre módulos son datos.
	Indica un módulo de la herramienta a utilizar.
	Identificador de un módulo con el que se define que no todos sus módulos se ejecutan en un momento dado.

INTERFAZ INTERNA

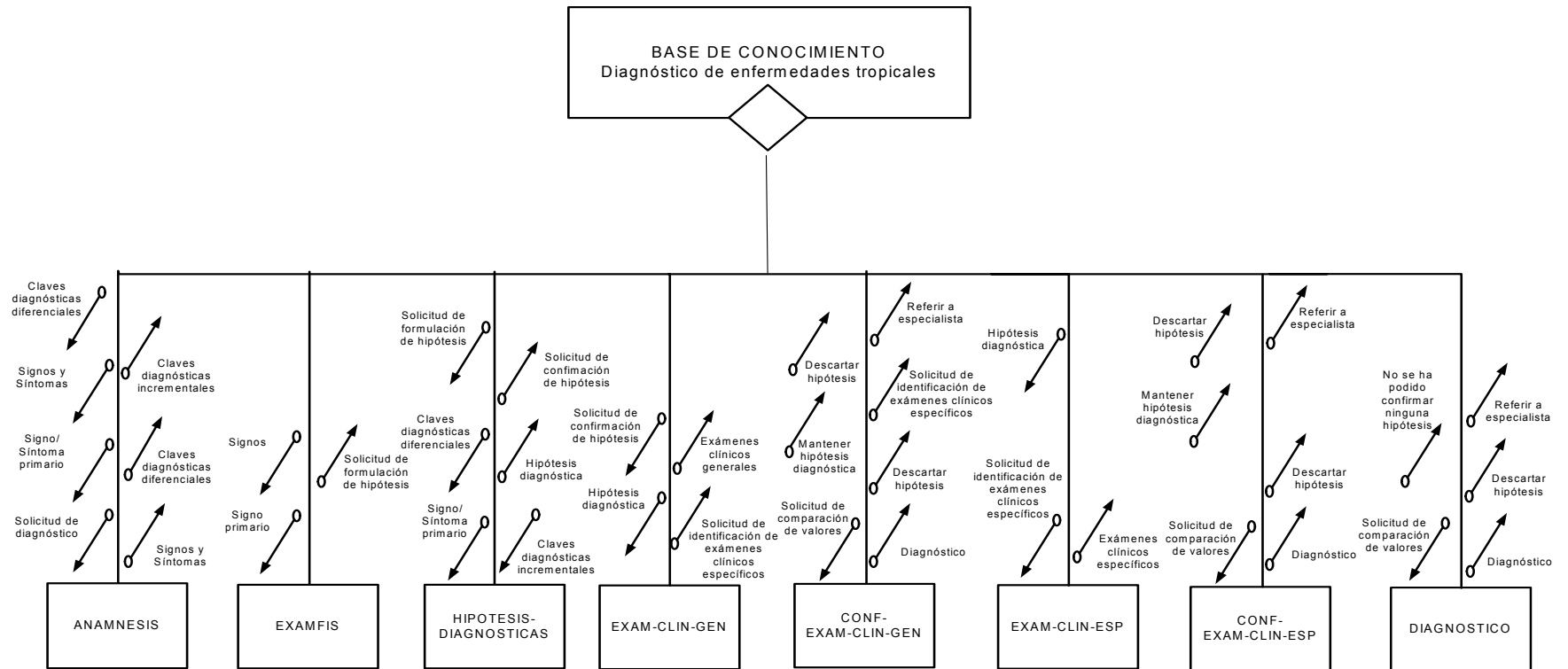


Figura 5.2.4.

### 2.4.3 INTERFAZ HOMBRE-MAQUINA

El diseño de la interfaz hombre-máquina tiene una correspondencia directa con el diseño de la interfaz de un SE. Este comprende el diseño del diálogo en línea, entradas y salidas.

#### 1. DIALOGO EN LINEA

##### DISEÑO DE MENU

El Diálogo en línea del sistema estará basado en un diálogo conducido por menú, con las opciones que se muestran en la figura 5.2.5.

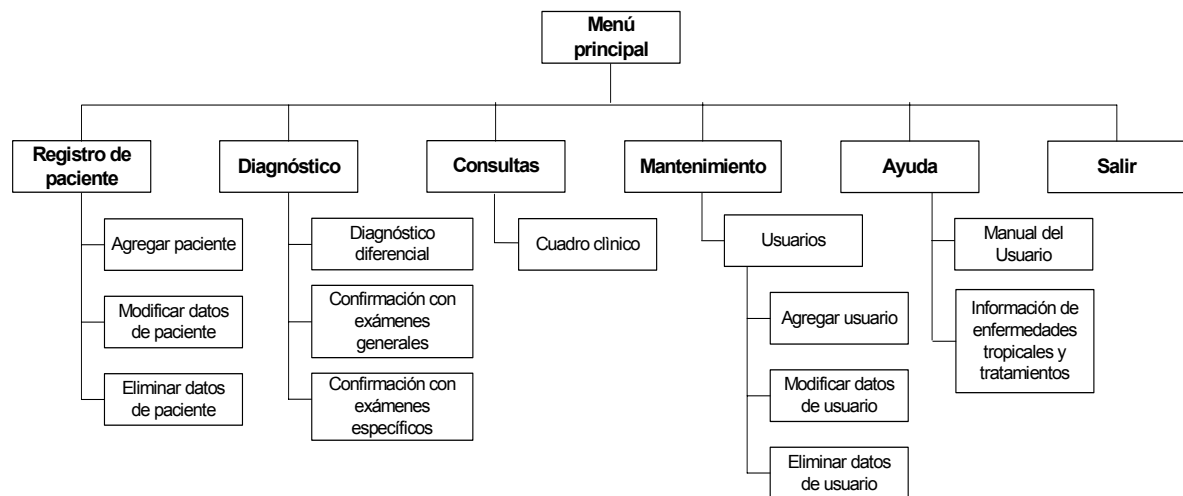


Figura 5.2.5. Diseño de menú principal

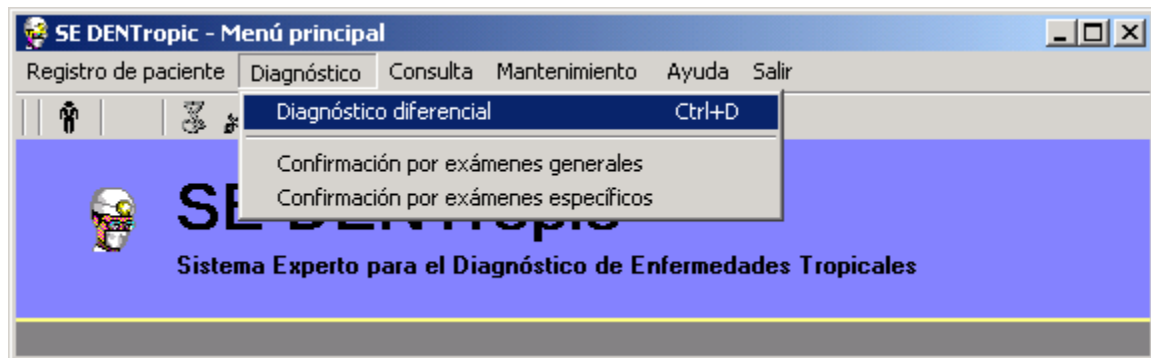


Figura 5.2.6. Implementación del diseño de menú

## SEGURIDAD DEL SISTEMA EXPERTO

### ACCESO AL SISTEMA

Para el acceso al SEDENTropic, se definen dos tipos de usuario: *médico del sistema* y *usuario*.

- **Médico del sistema:**

Es el administrador del sistema. Posee los siguientes permisos: registro de pacientes (agregar, modificar y eliminar), realizar los procesos de diagnóstico diferencial, confirmación por exámenes clínicos generales y específicos, consulta de cuadros clínicos, registro de cuadros clínicos y registros de usuarios del SE.

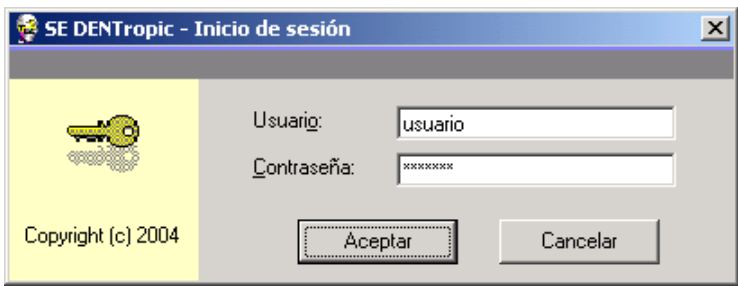
- **Usuario:**

Es útil para usuarios que desean aprender de casos de prueba de diagnóstico diferencial. En este caso no se afectan los cuadros clínicos de pacientes reales del SE. Tiene los permisos siguientes: agregar registros de pacientes, consulta de pacientes y cuadros clínicos, y realizar proceso de diagnóstico diferencial.

En el cuadro 5.2.2 se presenta a continuación la descripción de la pantalla de inicio de sesión para el acceso al SE.

Cuadro 5.2.2 Descripción de la pantalla de inicio SEDENTropic.

<b>ENTRADA</b>	<b>Inicio de sesión.</b>
<b>OBJETIVO</b>	Capturar la información de inicio de sesión del usuario.
<b>IDENTIFICACION</b>	FLogin
<b>OBSERVACIONES</b>	Debe de introducir el usuario y la contraseña correcta para ingresar al SE.



## MENSAJES DE ERROR

Para determinar el tratamiento de errores por medio de mensajes se dividirán en los tipos siguientes:

- **Error de entrada de datos.**

Cuando el usuario introduzca datos no válidos o por la falta de datos en un formulario, el sistema desplegará un mensaje advirtiéndolo que el dato no es válido.

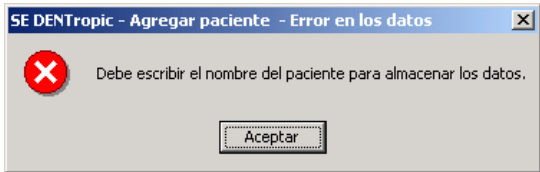
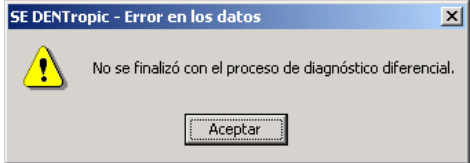

- **Error de interrupción en la solicitud de datos.**

Este tipo de error, se da cuando el usuario interrumpe el proceso que se está realizando. En este caso se desplegará un mensaje de error que le hace saber al usuario que el proceso fue interrumpido, por ejemplo: los procesos de diagnóstico diferencial, confirmación por exámenes generales y específicos.

- **Error de acceso al sistema.**

Este tipo de mensajes aparece cuando el usuario desea ingresar al sistema, y este no tiene acceso. Las respuestas a estos tipos de errores dependerán de la acción que el usuario desee hacer: ingresar nombre de usuario y contraseña correcta.

Cuadro 5.2.3. Algunos ejemplos de mensajes de error.

MENSAJE DE ERROR	EJEMPLO
Error de entrada de datos	
Error de interrupción en la solicitud de datos	
Error de acceso al sistema	

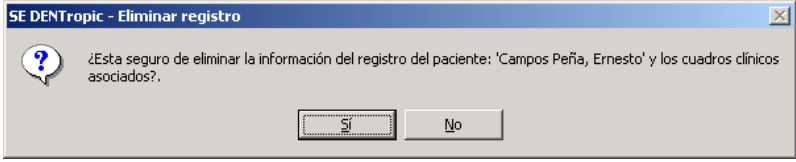
## **MENSAJES DE CONFIRMACION DE ACCIONES**

Estos mensajes aparecen cuando se ejecuten procesos que:

- Agregan, modifican o eliminan datos del paciente.
- Agregan, modifican o eliminan hechos del cuadro clínico.
- Agregan, modifican o eliminan usuarios del sistema.

Lo anterior se realizará a través de la presentación al usuario de una advertencia sobre los efectos que se deriven de tal acción y una serie de alternativas, entre las cuales estará la de cancelar el proceso para la confirmación del proceso.

*Cuadro 5.2.4. Ejemplo de mensaje de confirmación de acciones.*

<b>MENSAJE DE CONFIRMACION</b>	<b>EJEMPLO</b>
Mensaje de confirmación de acciones	

## 2. DISEÑO DE SALIDAS

El diseño de salidas comprende la definición de las pantallas de *salidas* y *consultas* que serán utilizados por el SEDENTropic.

### **SALIDAS**

El SE presenta las siguientes salidas en pantalla:

1. *Hipótesis diagnóstica (Resultado del diagnóstico diferencial).*
2. *Examen físico.*
3. *Confirmación de hipótesis por exámenes clínicos generales.*
4. *Confirmación de hipótesis con exámenes clínicos específicos.*

### **CONSULTAS**

El SE contará con las siguientes consultas en pantalla:

1. *Cuadro clínico.*
2. *Selección de paciente para cuadro clínico.*
3. *Información del paciente.*
4. *Selección de paciente para diagnóstico diferencial.*
5. *Selección de paciente para confirmación por exámenes generales.*
6. *Hipótesis diagnóstica y exámenes generales para confirmación.*
7. *Selección de paciente para confirmación por exámenes específicos.*
8. *Hipótesis diagnóstica y exámenes específicos para confirmación.*
9. *Selección de paciente para modificar registro.*
10. *Selección de paciente para eliminar registro.*
11. *Selección de usuario para modificar registro.*
12. *Selección de paciente para eliminar registro.*

A continuación se presentan ejemplos de pantallas de entrada y consultas del SE.

Cuadro 5.2.5. Ejemplo de pantalla de salida: Hipótesis diagnóstica.

SALIDA	Hipótesis diagnóstica (resultado del diagnóstico diferencial)	No 1
OBJETIVO	Mostrar una lista de enfermedades que forman la hipótesis y la explicación de cómo se llegó a formular cada una de estas.	
IDENTIFICACION	FHipDiag	
OBSERVACIONES	<p>La hipótesis diagnóstica se obtiene del resultado del proceso de <i>diagnóstico diferencial</i>.</p> <p>Esta salida debe de contener el resultado de diagnóstico diferencial:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Hipótesis diagnóstica, explicación del proceso de diagnóstico y exámenes generales sugeridos. (ver figura 5.2.7).</li> <li>• El resultado del examen físico inicial y exámenes clínicos específicos sugeridos.</li> </ul>	

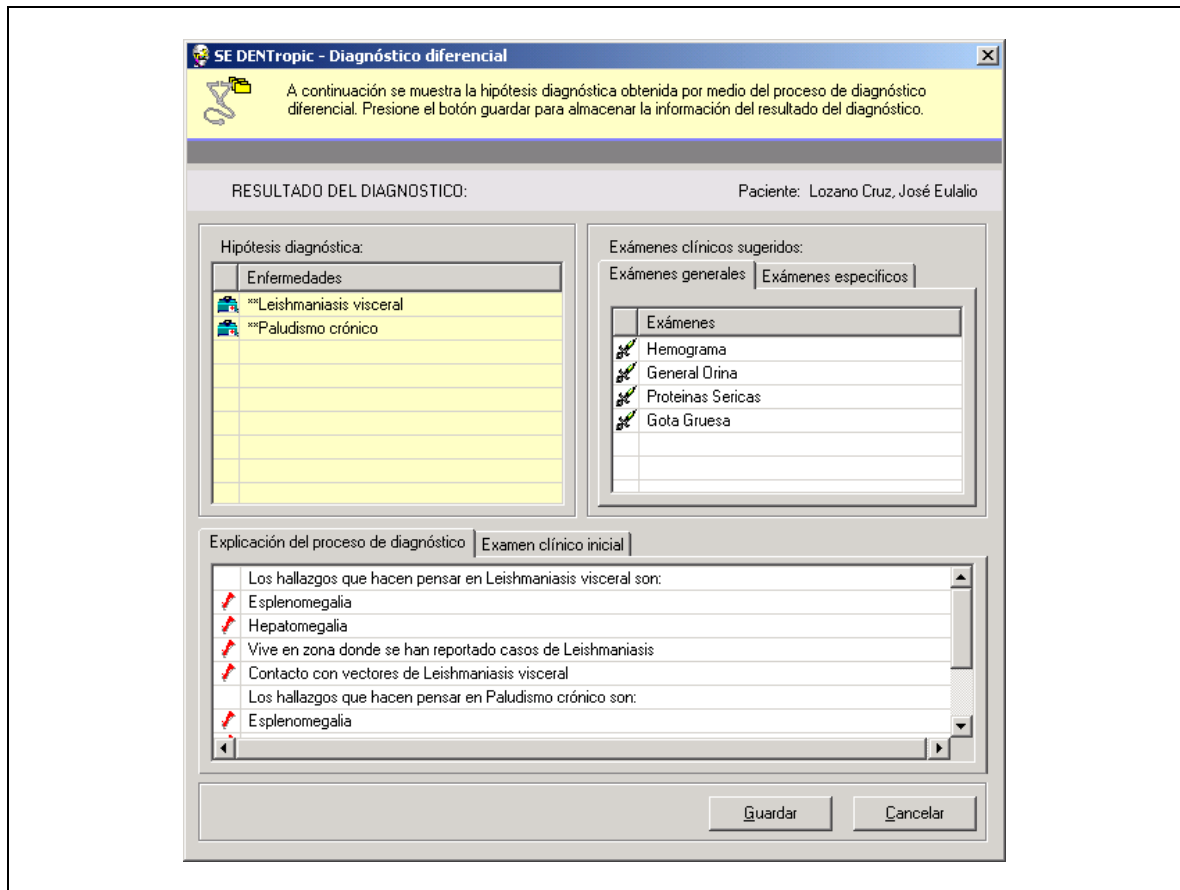


Figura 5.2.7. Hipótesis diagnóstica (resultado del diagnóstico diferencial).



Cuadro 5.2.6. Ejemplo de pantalla de consulta: Cuadro clínico.

CONSULTA	Cuadro clínico.	No 1
OBJETIVO	Mostrar el cuadro clínico del paciente.	
IDENTIFICACION	FCuaClin	
OBSERVACIONES	El cuadro clínico debe contener la siguiente información: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Datos generales del paciente, diagnóstico (diagnóstico confirmado o hipótesis diagnóstica), descripción y comentarios del diagnóstico. (ver figura 5.2.8).</li> <li>• Información básica del proceso en que se encuentra, explicación del diagnóstico diferencial, resultados del examen físico inicial.</li> <li>• Resultados de los exámenes clínicos generales y específicos.</li> </ul>	

**SE DENTropic - Cuadro Clínico**

El cuadro clínico contiene el conjunto de síntomas, signos y datos que resultan de la anamnesis. Además de la información general del paciente, con los resultados del diagnóstico. Si se desea consultar otro paciente presione el botón buscar.

**Datos del paciente**

Nombre:

Apellidos:

Sexo:  Fecha de nacimiento:

Zona de vivienda:  Edad:

Ocupación:

Teléfono:  Religión:

Dirección:

**Diagnóstico** | Información básica

Hipótesis confirmada:  
**Leishmaniasis visceral**

Hipótesis diagnóstica:

Enfermedades	
**Leishmaniasis visceral	
**Paludismo crónico	

Descripción y comentarios del diagnóstico | Explicación del diagnóstico diferencial | Exámenes clínicos

Breve descripción del diagnóstico:

Agregar información de otros signos y síntomas:

Puede agregar comentarios del diagnóstico:  
 El diagnóstico nos hace creer el paludismo crónico o acceso hepatico.  
 Causas:  
 + Por tener antecedentes de paludismo anteriormente.  
 + Porque el paciente manifiesta no haber terminado con el tratamiento.  
 Los resultados de los exámenes generales:  
 + Nos confirmaron presencia de leishmania donobany.  
 > Se descarta palusimo crónico.

Figura 5.2.8. Cuadro clínico.

### 3. DISEÑO DE ENTRADAS

El diseño de entradas comprende la definición de las *pantallas de entrada de datos* que serán utilizados por el SEDENTropic.

#### **ENTRADA DE DATOS**

Las entradas de datos que utilizará el SE son:

1. *Diagnóstico diferencial (Pregunta Consulta por).*
2. *Diagnóstico diferencial (Preguntas examen físico inicial).*
3. *Diagnóstico diferencial (Preguntas de anamnesis).*
4. *Diagnóstico diferencial (Preguntas de examen físico).*
5. *Confirmación por exámenes generales (Preguntas).*
6. *Confirmación por exámenes específicos (Preguntas).*
7. *Agregar paciente.*
8. *Modificar datos de paciente.*
9. *Agregar usuario.*
10. *Modificar usuario.*

A continuación se presenta un ejemplo de pantalla de entrada.

Cuadro 5.2.7. Ejemplo de pantalla de entrada: Diagnóstico diferencial.

ENTRADA	Diagnóstico diferencial.(Pregunta Consulta por)	No 1
OBJETIVO	Capturar el signo primario o problema por el que el paciente realiza la consulta (diagnóstico diferencial) al SE.	
IDENTIFICACION	FdiagDifPreg_00	
OBSERVACIONES	La entrada “consulta por” proporciona al paciente información e imágenes del signo primario por que se va a consultar.	

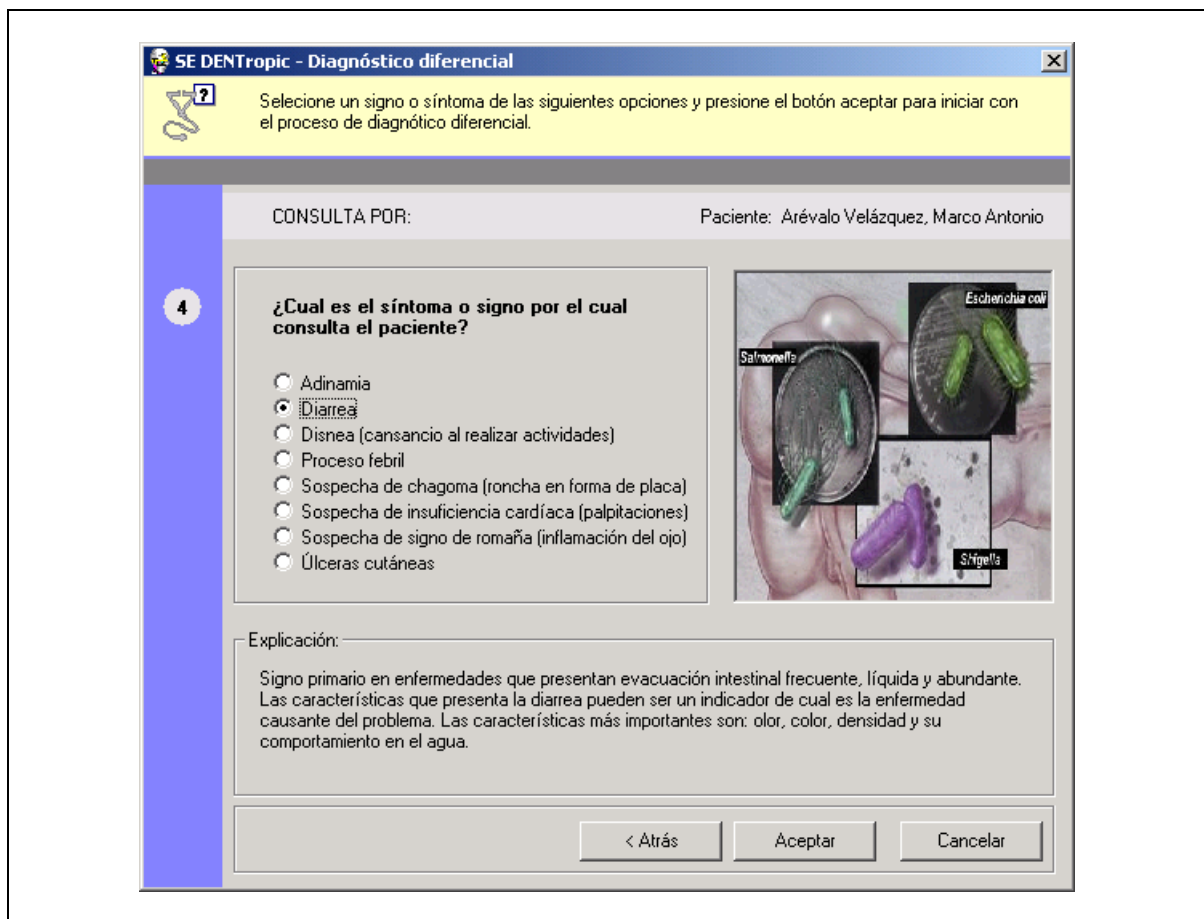


Figura 5.2.9. Diagnóstico diferencial (Pregunta Consulta por).

---

---

## **CAPITULO VI: IMPLEMENTACION**

---

La implementación es la fase en la que el modelo de conocimiento es codificado en la herramienta de desarrollo seleccionada. El resultado de la codificación del modelo es el prototipo del sistema experto.

Durante la codificación es necesario que se garantice la consistencia entre el modelo de conocimiento y el sistema experto. Para ello, se han considerado una serie de estándares que tienen como objetivo uniformizar los elementos del sistema, que servirán de base para el control de calidad y posteriormente el mantenimiento.

En este capítulo se presentan las secciones siguientes.

- 1. Estándares de desarrollo.**
- 2. Motor de inferencia.**
- 3. Base de hechos.**
- 4. Base de conocimientos.**
- 5. Interfaz de usuario.**
- 6. Análisis de la implementación en CLIPS.**

# 1. ESTANDARES DE DESARROLLO

Los estándares que se definen a continuación son aplicables tanto para el desarrollo en CLIPS como en Microsoft Visual Basic 6 (VB6), siempre que su aplicación no plantee una inconsistencia con las normas de programación de cada una de las herramientas. En tal caso, la aplicabilidad de los estándares se expresará de manera explícita.

## 1.1 ESTANDARES DE PROGRAMACION

En este apartado se definen las normas generales adoptadas para la programación y documentación a utilizar.

1. Los tipos de programación que se utilizarán son: *programación orientada a procesos* y *programación orientada a reglas*.
2. Asignar nombres mnemónicos utilizando la técnica MayMin, a todos los objetos del programa.
3. En el ámbito de la programación orientada a procesos, se utilizará únicamente las seis estructuras lógicas de la programación estructurada:
  - *Secuenciación*
  - *Si Entonces Sino*
  - *Hacer Mientras*
  - *Hacer Hasta que*
  - *Hacer Hasta Incremento*
  - *Seleccionar caso*

Este estándar también es aplicable en el ámbito de la programación orientada a reglas, cuando sea necesario implementar algoritmos que no requieren ser codificados mediante reglas.

4. En el ámbito de la programación orientada a procesos, se indentarán los elementos internos de una estructura lógica con cuatro espacios hacia la derecha con respecto al primer carácter del encabezado de la estructura. Toda la estructura contenida en el flujo de

ejecución principal de cualquier módulo, incluyendo el programa principal, debe tener cero indentación.

En el ámbito de la programación orientada a reglas, se indentará cada elemento interno a una estructura lógica o constructor con un espacio de tabulación respecto al primer carácter de la estructura. Para mantener la legibilidad de las reglas, los templates serán escritos de manera que para los slots que lo conforman se mantengan la misma indentación.

5. El tipo de programación utilizada consiste en un programa principal y tantos módulos como sean necesarios (programación modular).
6. Incluir en todo módulo un encabezado que contenga un marco de asteriscos donde se definirá: el nombre del modulo o función, su objetivo o cualquier otra información relevante. El programa principal debe tener además dentro de ese marco el nombre del archivo, nombre y versión del compilador del lenguaje y fecha de actualización del programa.
7. Documentar todos los módulos de manera breve y eficiente a fin de evitar confusiones y alteraciones.

## 1.2 ESTANDARES DE VARIABLES

En CLIPS, las variables globales deberán tener un tamaño máximo de 15 caracteres. Las variables locales deberán tener un tamaño máximo de 10 caracteres.

Si se trata de la dirección de un hecho, la variable debe llamarse hecho-dir. Si en la regla se encuentra más de una dirección, la variable irá acompañada de un número correlativo. Por ejemplo:

?hecho-dir-2.

En VB6, las variables deben ser declaradas de manera explícita al inicio del módulo o función en el que se encuentren. El tamaño máximo de caracteres para nombrar variables es el mismo que el tamaño indicado para CLIPS.

## 1.3 ESTANDARES DE MODULOS

En CLIPS la definición de un módulo se hace a través del constructor *defmodule*. En el SEDENTropic los módulos deben tener la siguiente estructura:

- La definición del módulo, en el que el nombre del módulo debe ser escrito en letras mayúsculas. Cuando el nombre esté compuesto por más de una palabra o mnémónico se separarán con un guión.
- Declaración de variables globales y definición de estructuras, si existen.
- Conjunto de funciones, si existen.
- Conjunto de reglas.
- Conjunto de hechos.

Los módulos deberán ser divididos en dos archivos:

- El primero, al que se llamará *archivo de reglas*, deberá contener los primeros cuatro elementos de la estructura anterior.
- El segundo, al que se llamará *archivo de hechos*, contendrá el conjunto de hechos.

En VB6, la estructura de módulos será la siguiente:

- Declaración de variables.
- Conjunto de funciones y procedimientos.

## 1.4 ESTANDARES DE REGLAS

Las reglas dentro de SEDENTropic presentan la siguiente estructura:

```
; ..... Encabezado ..... ;  
; ..... ;  
; ..... ;  
; ..... ;  
(defrule NOMBRE-DE-MODULO::r_NombreRegla  
  LHS  
  
  =>  
  
  RHS  
); Fin de la regla
```

En la definición de la regla, el nombre del módulo debe ser referido de forma explícita. El nombre de la regla debe indicar el propósito de la misma, y debe ser menor o igual a 25 caracteres.

Cuando una regla realice la misma función que otra con diferentes condiciones, podrá asignársele el mismo nombre seguido de un número correlativo.

## 1.5 ESTANDARES DE HECHOS

Cuando se trate de hechos no ordenados se utilizará la siguiente estructura:

```
(defemplate NOMBRE-MODULO::NombreTemplate  
  (slot Atributo1  
    (default ?NONE))  
  (multislot Atributo 2  
    (default ?DERIVE))  
  (slot Atributo n  
    (default Valor))  
);fin de la declaración de la estructura
```

En la definición de una estructura, el nombre del módulo debe ser referido de forma explícita. El nombre de la estructura debe ser menor o igual a 25 caracteres.

Para asignar valores por defecto a los atributos se debe considerar si es necesario un valor específico. Si es necesario que exista el valor de un slot para agregar un hecho, se utiliza el operador ?NONE. Si se desea un valor nulo se debe usar el operador ?DERIVE.



## 1.6 ESTANDARES DE NOMBRES DE ARCHIVOS

Cuando se nombra un archivo que consta de dos o más palabras se tomarán las primeras 3 ó 4 letras de cada palabra, hasta un máximo de 15 caracteres.

Para los archivos generados en CLIPS, el nombre de los *archivos de hechos* deberá iniciar con la palabra *Hechos*. De igual manera, los *archivos de reglas* con la palabra *Reglas*. Por ejemplo, el archivo que contenga las reglas del módulo HIPOTESIS-DIAGNOSTICAS se debe llamar ReglasHipDiag.clp. Si en un archivo se encuentran los hechos del módulo EXAM-FIS, se llamará HechosExamFis.clp

Los nombres asignados a los archivos en VB6 estarán formados por un prefijo en minúsculas, que identificará el tipo de archivo del que se trata (ver cuadro 6.1.1).

Cuadro 6.1.1. Estándares para nombres de archivos en VB6.

Tipo de Archivo	Carpeta de Ubicación	Letra Inicial	Ejemplo	Descripción
Formulario	.../Formularios	f	fConfEnfTrop.frm	Contiene el formulario utilizado para confirmar enfermedades tropicales
Imágenes	.../imgDENTropic	img	imgchagoma1.jpg	Contiene la imagen de un chagoma
Módulos	.../Modulos	m	mInicio.bas	Contiene el módulo principal de la aplicación
Base de datos	/	db	dbSEDEntropic	Contiene la base de datos de SEDEntropic

## 1.7 ESTANDARES DE PANTALLAS

En este apartado se definen los estándares necesarios para las entradas y salidas que se presentarán en pantalla en el software del SE.

En general:

- El tipo de letra utilizado en la pantalla será: MS Sans Serif, tamaño 8.
- Los colores utilizados serán los que estén predeterminados en el sistema operativo.

## 1.7.1 ESTANDARES PARA PANTALLAS DE ENTRADA

Antes de establecer los estándares para pantallas de entrada, es necesario tomar en cuenta los siguientes aspectos:

1. Objetivos de la pantalla de entrada: realizar la captura de los datos necesarios para efectuar los procedimientos programados.
2. Normas de Calidad:
  - Los formularios deben ser comprensibles y fáciles de completar (llenar).
  - Los formularios deben ser diseñados de manera que asegure que sean completados con datos precisos.
  - Los formularios deben de mantener una apariencia simple, y una secuencia lógica para completarlos.

El estándar para pantalla de entrada se muestra en la figura 6.1.1.

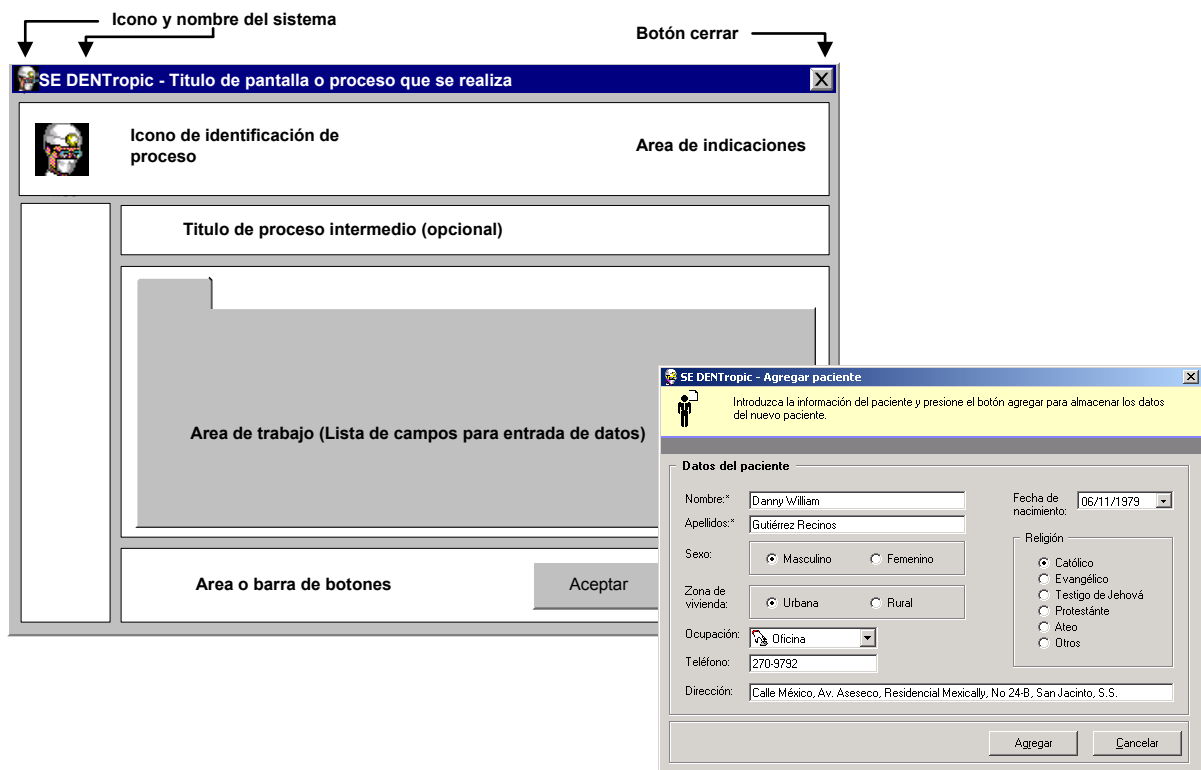


Figura 6.1.1. Estándar para pantallas de entrada.

## 1.7.2 ESTANDARES PARA PANTALLAS DE SALIDA

A continuación se presentan los aspectos considerados para los estándares para pantallas de salida:

1. Objetivo de las pantallas de salida: presentar al usuario la información que haya resultado del procesamiento de la información obtenida.
2. Normas que se deben tomar en cuenta para el diseño de pantallas de salida:
  - Resalta la información solicitada por el usuario.
  - Señalar eventos importantes como oportunidades, problemas, etc.
  - Presentar la información de manera precisa, identificando claramente lo que se va a incluir en la pantalla.
  - Usar mayúsculas y minúsculas en la presentación de los mensajes de error, de advertencia, de ayuda al usuario, etc.

El estándar para pantalla de salida se muestra en la figura 6.1.2.

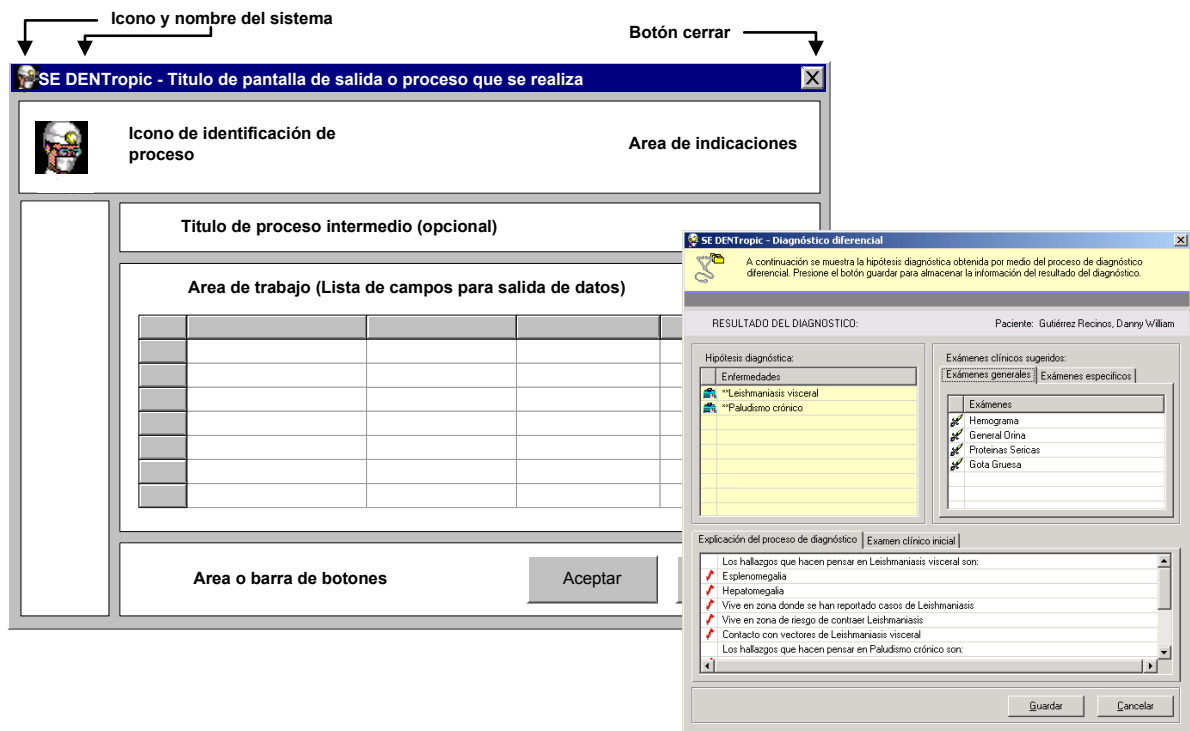


Figura 6.1.2. Estándar para pantalla de salida.

## 2. MOTOR DE INFERENCIA

El motor de inferencia utilizado en el SEDENTropic es el proporcionado por CLIPS, que requiere ser ajustado a las necesidades de desarrollo. Dos son las funciones del motor de inferencia que merecen especial atención: la estrategia de búsqueda y la prioridad de ejecución de reglas (*salience*).

La estrategia de búsqueda utilizada es *en anchura*. El motor de inferencia evalúa la parte izquierda de las reglas en función de los hechos presentes en la base de hechos. Los hechos que cumplen con la condición de una regla son convertidos en espacios de estado que son evaluados de forma "horizontal" (ver *PARTE I, CAPITULO I: Técnicas de búsqueda, págs. 80 - 105*).

La prioridad de ejecución de las reglas ha sido utilizada con el valor por defecto del motor de inferencia. Con esta configuración, la prioridad de una regla es evaluada cuando ésta es definida. Cuando dos o más reglas se encuentran en *agenda* (activas), el valor de prioridad de ejecución determina cual se ejecutará primero.

Cuando se activan dos reglas con la misma prioridad o una regla se activa más de una vez, la prioridad de ejecución estará determinada por la estrategia de búsqueda.

### 3. BASE DE HECHOS

La base de hechos es utilizada para realizar las preguntas del diagnóstico diferencial. El signo primario es definido a través del *template* SignoPrim. Las claves diagnósticas son definidas a través de dos *templates*: ClaveDiag y Pregunta.

El *template* *ClaveDiag* se ha utilizado indistintamente para todas las claves diagnósticas (diferenciales o incrementales) con el objetivo de hacer más eficiente la codificación del modelo, ya que no hacerlo significaría utilizar cuatro *templates*.

Para preguntar los atributos de las claves diagnósticas, se ha utilizado el *template* *Pregunta*, de manera que la regla asociada a este *template* solamente se activará si el hecho correspondiente a esa clave diagnóstica (*ClaveDiag*) está presente (Presencia Si).

A continuación se presenta un ejemplo para ilustrar este proceso.

*Ejemplo 6.3.1. Modelado del concepto Signo diferencial.*

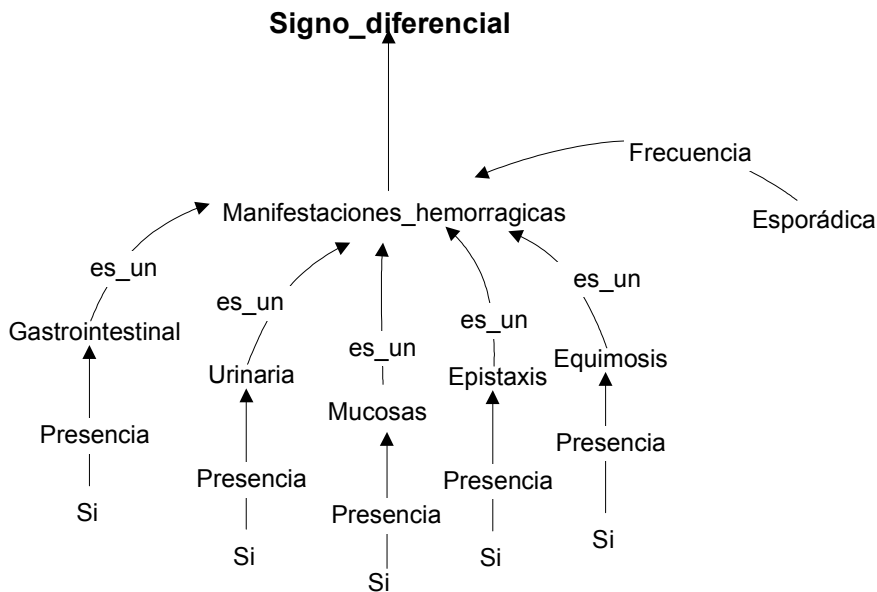


Figura 6.3.1. Signos diferenciales para Dengue con manifestaciones hemorrágicas.

Cuadro 6.3.1. Implementación de hechos para Dengue con manifestaciones hemorrágicas.

```
(deftemplate ANAMNESIS::ClaveDiag
  (slot Nombre (default ?NONE))
  (slot Presencia (default Ignorado))
  (multislot Atributo (default ?DERIVE))
  (slot Pregunta (default ?DERIVE))
  (multislot SignoPrim (default ?DERIVE))
  (multislot ClaveDiagAnt (default ?DERIVE))
  (multislot RespValid (default ?DERIVE))
  (slot Etiqueta (default ?DERIVE))
  (slot TipoPreg (default 101))
  (slot Explicacion (default Ninguno))
); fin de la declaración de la estructura ClaveDiag

(deftemplate ANAMNESIS::Pregunta
  (slot ClaveDiag (default ?NONE))
  (slot Pregunta (default ?NONE))
  (multislot RespValid (default ?DERIVE))
  (slot Preguntada (default FALSE))
  (slot Etiqueta (default ?DERIVE))
  (slot TipoPreg (default 02))
  (slot Explicacion (default Ninguno))
);fin de la declaración de la estructura Pregunta

(ClaveDiag (Nombre Epistaxis)
  (Etiqueta "Epistaxis ")
  (Pregunta "¿Presenta epistaxis?")
  (RespValid Si No)
  (ClaveDiagAnt Dolor-Retro Si P-Lazo Si))

(Pregunta (ClaveDiag Epistaxis)
  (Etiqueta "de frecuencia ")
  (Pregunta "¿Cuál es la frecuencia de la epistaxis?")
  (RespValid Esporadica Intermitente Continua)
  (TipoPreg 03))

(ClaveDiag (Nombre Equimosis)
  (Etiqueta "Equimosis ")
  (Pregunta "¿Presenta equimosis?")
  (RespValid Si No)
  (ClaveDiagAnt Dolor-Retro Si P-Lazo Si))

(Pregunta (ClaveDiag Equimosis)
  (Etiqueta "de frecuencia ")
  (Pregunta "¿Cuál es la frecuencia de la equimosis?")
  (RespValid Esporadica Intermitente Continua)
  (TipoPreg 03))

(ClaveDiag (Nombre Rash)
  (Etiqueta "Rash ")
  (Pregunta "¿Presenta Rash?")
  (RespValid Si No)
  (Explicacion "Las características de la fiebre hacen del paciente un caso sospechoso de Dengue, verifique la presencia de Rash.")
  (SignoPrim Fiebre Aguda Continua)
  (TipoPreg 301))

(Pregunta (ClaveDiag Rash)
  (Etiqueta "de localización ")
  (Pregunta "¿Cuales son las características del Rash?")
  (RespValid Oscuros Claros)
  (TipoPreg 03))
```

## 4. BASE DE CONOCIMIENTO

La codificación consiste en adaptar el modelo de conocimiento a las convenciones semánticas y sintácticas de la herramienta a utilizar. Cuando el modelo de conocimiento formalizado y la técnica de representación utilizada por la herramienta no son coincidentes, es necesario “traducir” el modelo a uno escrito en la técnica utilizada por la herramienta.

Como ya se explicó anteriormente, la formalización del modelo de conocimiento se realizó a través de la técnica de representación de conocimiento *redes semánticas* (Ver *PARTE II, CAPITULO V, Formalización del conocimiento, págs. 267 - 288*), en adelante llamado *modelo semántico*. Por lo que fue necesario “traducir” este modelo a uno escrito en *reglas de producción*.

Hay que hacer notar que las reglas de producción son, por definición, una técnica de representación de tipo *procedimental*. Las redes semánticas en cambio, son una técnica de tipo *declarativa*.

Lo anterior hace pensar que el traducir el modelo semántico a reglas de producción es una tarea complicada. No obstante, la complejidad de este proceso se ve reducida si se toma en cuenta que el modelo semántico es un modelo estático al que hay que incorporar el proceso de razonamiento del experto (Ver *PARTE II, CAPITULO IV, Planteamiento de causalidades, Modelo de razonamiento del experto, págs. 251 - 263*). El *modelo de razonamiento del experto*, describe la forma en que el experto organiza las tareas que debe realizar para hacer un diagnóstico, proporcionando una guía de como organizar las reglas a través de la instrucción *saliencia*.

En el ejemplo 6.4.1 se muestra como se utilizó el modelo de razonamiento del experto (figura 6.4.1) como complemento del modelo semántico (figura 6.4.2) para generar las reglas del diagnóstico diferencial.

Ejemplo 6.4.1. Implementación del modelo de razonamiento del experto y el modelo semántico.

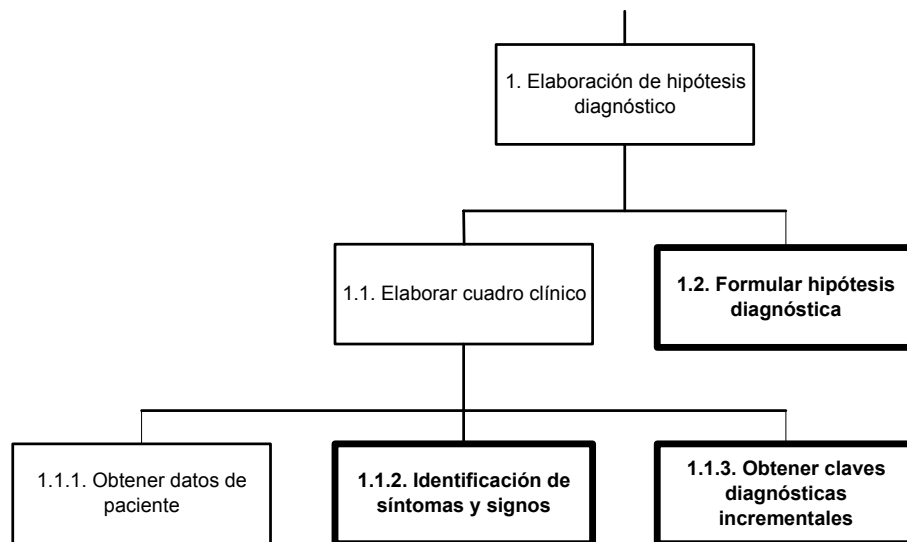


Figura 6.4.1. Tarea de elaboración de hipótesis diagnósticas y sus subtareas.

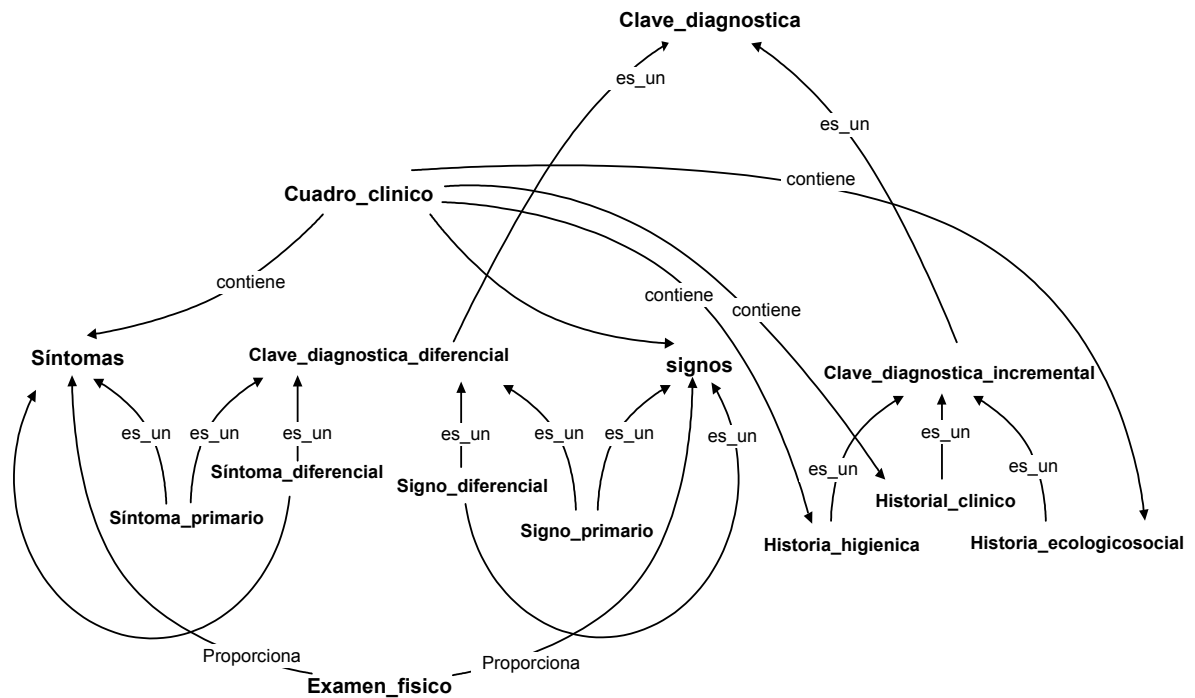


Figura 6.4.2. Fragmento del modelo de conocimiento general



Cuadro 6.4.1. Implementación del proceso Elaboración de hipótesis diagnósticas.

```

.....;
Regla para el examen físico preliminar
.....;
;
;
(defrule ANAMNESIS::r_ExamFisIni
  (declare (salience 12))
  ?hecho-dir <- (Pregunta (ClaveDiag ?ClaveDiag&Pulso|Temperatura|P-
Lazo|Presion|Inten-Pulso)
                 (Preguntada FALSE)
                 (Pregunta ?Preg)
                 (RespValid $?Resp))

=>
  (modify ?hecho-dir (Preguntada TRUE))
  (switch ?ClaveDiag
    (case Pulso then
      (bind ?*Pulso* ?*vcPulso*)
    ); fin caso Pulso

    (case Temperatura then
      (bind ?*Temperatura* ?*vcTemperatura*)
    ); fin caso Temperatura

    (case P-Lazo then
      (if (>= ?*Temperatura* 37.5) then
        (if (eq ?*vcPruebaLazo* Positivo)
          then (assert (ClaveDiag (Nombre P-Lazo)
                                (Presencia Si)))
          else (assert (ClaveDiag (Nombre P-Lazo)
                                (Presencia No)))
        ); fin condición
      else (assert (ClaveDiag (Nombre P-Lazo)
                            (Presencia No)))
      ); fin condición
    ); fin caso P-Lazo

    (case Presion then
      (bind ?*Presion* ?*vcPresionSist* ?*vcPresionDiast*)
    ); fin caso Presión

    (case Inten-Pulso then
      (bind ?*Inten-Pulso* ?*vcInten-Pulso*)
    ); fin caso Intensidad del pulso

    (default none)

  );Fin del seleccionar caso
);fin de la regla
.....;
Regla para determinar el signo primario
.....;
;
;
(defrule ANAMNESIS::r_PreguntaSignoPrim
  (declare (salience 11))
  ?hecho-dir <- (Pregunta (ClaveDiag SigPrim)
                       (Preguntada FALSE)
                       (Pregunta ?Preg)
                       (RespValid $?Resp))

=>
  (modify ?hecho-dir (Preguntada TRUE))
  (bind ?*vbSalida* 1)
  (bind ?*vcPregGlobal* ?Preg)
  (bind ?*vcRespValidas* $?Resp)

  (bind ?*vcRegla* r_PreguntaSignoPrim)
  (halt)

);fin de la regla

```

```
.....;
Regla para determinar los atributos del Signo Primario
.....;
(defrule ANAMNESIS::r_PregAtributoSigPrim
  (declare (salience 10))
  ?hecho-dir <- (SignoPrim (Nombre ?Nombre)
                  (Atributo $?Atributo))
  ?hecho-dir-2 <- (Pregunta (ClaveDiag ?Nombre)
                  (Preguntada FALSE)
                  (Explicacion ?Exp)
                  (Etiqueta ?Etiq)
                  (Pregunta ?Preg)
                  (TipoPreg ?TipoPreg)
                  (RespValid $?Resp))

  =>
  (modify ?hecho-dir-2 (Preguntada TRUE))

  ;Interfaz gráfica
  (bind ?*vbSalida* 1)
  (bind ?*vcPregGlobal* ?Preg)
  (bind ?*vcRespValidas* ?Resp)

  (bind ?*vcAtributo* $?Atributo)
  (bind ?*vcNombre* ?Nombre)
  (bind ?*vcRegla* r_PregAtributoSigPrim)
  (bind ?*vcTipPreg* ?TipoPreg)
  (bind ?*vcSigSin* ?Etiq)

  (printout bufferExp ?Exp crlf)

  (retract ?hecho-dir)
  (halt)

  );fin de la regla

.....;
Regla para determinar las claves diagnósticas asociadas al signo primario:
fiebre.
.....;
(defrule ANAMNESIS::r_ClavesDiagFebriles
  (declare (salience 8))
  (SignoPrim (Nombre Fiebre)
            (Atributo $?Atributo))
  ?hecho-dir <- (ClaveDiag (Nombre ?NombreCDiag)
                    (Etiqueta ?Etiq)
                    (Explicacion ?Exp)
                    (Presencia Ignorado)
                    (Pregunta ?Preg)
                    (SignoPrim Fiebre $?Atributo)
                    (TipoPreg ?TipoPreg&:(< ?TipoPreg 200))
                    (RespValid $?Resp))

  =>

  ;Interfaz gráfica
  (bind ?*vbSalida* 1)
  (bind ?*vcPregGlobal* ?Preg)
  (bind ?*vcRespValidas* ?Resp)

  (bind ?*vcAtributo* $?Atributo)
  (bind ?*vcNombre* Fiebre)
  (bind ?*vcNombreCDiag* ?NombreCDiag)
  (bind ?*vcRegla* r_ClavesDiagFebriles)
  (bind ?*vcTipPreg* ?TipoPreg)
  (bind ?*vcSigSin* ?Etiq)
  (printout bufferExp ?Exp crlf)

  (retract ?hecho-dir)
  (halt)

  );fin de la regla
```

## 5. INTERFAZ DEL USUARIO

Al igual que en los sistemas tradicionales, la interfaz del usuario debe cumplir con las normas de ingeniería del software, como: usabilidad, eficiencia, etc.

Para implementar el sistema desarrollado en CLIPS en Microsoft Visual Basic 6.0 (VB6), se ha utilizado un control activo X (Active X), llamado CLIPSOX. Este control permite ejecutar instrucciones de CLIPS en aplicaciones de VB6 y crear una interfaz de usuario más amigable que la línea de texto de CLIPS.

A diferencia de CLIPS, en VB6 el SEDENTropic es ejecutado paso a paso hasta que no encuentre reglas que activar. En CLIPS las operaciones de E/S son recibidas o enviadas a la misma ventana de diálogo en la que se ejecuta SEDENTropic.

En VB6 las operaciones de transferencia de información a CLIPS son controladas a través de variables globales definidas en las versiones CLIPS y VB6 de SEDENTropic. Esto hizo necesario realizar algunas modificaciones básicas al módulo principal o MAIN y a las reglas:

### MODIFICACIONES PARA LA INTERFAZ GRAFICA

#### 1. Programa principal o MAIN

El programa principal o MAIN en CLIPS se utiliza una sola vez para asignar la pila de trabajo de los módulos del sistema. Esto se realiza por medio de la instrucción *focus* en la regla inicial del módulo.

*Ejemplo 6.5.1. Programa principal en CLIPS.*

```
(defrule MAIN:r_inicial
  (declare (salience 7))
  =>
  (set-fact-duplication FALSE)

  (focus ANAMNESIS EXAMFIS ANAMNESIS EXAMFIS HIPOTESIS-DIAGNOSTICAS
          EXAM-CLIN-GEN CONF-EXAM-GEN DIAGNOSTICO EXAM-CLIN-ESP CONF-
          EXAM-ESP DIAGNOSTICO)

);fin de la regla
```

En la interfaz gráfica es necesario utilizar tres módulos MAIN, debido a que la ejecución del SEDENTropic se realiza en tres tiempos diferentes, lo que requiere asignar de diferente forma la pila de trabajo de los módulos. Esto se especifica en los tres casos siguientes:

*Caso 1: Programa principal para diagnóstico diferencial.*

```
(defrule MAIN::r_inicial
  (declare (salience 7))
  =>
  (set-fact-duplication FALSE)
  (focus ANAMNESIS EXAMFIS ANAMNESIS EXAMFIS HIPOTESIS-DIAGNOSTICAS
  EXAM-CLIN-GEN)

  );fin de la regla
```

Para ejecutar la sección de diagnóstico diferencial, la instrucción *focus* indica que se utilizarán los módulos ANAMNESIS, EXAMFIS, HIPOTESIS-DIAGNOSTICAS y EXAM-CLIN-GEN.

*Caso 2: Programa principal para confirmación por exámenes clínicos generales.*

```
(defrule MAIN::r_inicial
  (declare (salience 7))
  =>
  (set-fact-duplication FALSE)
  (HIPOTESIS-DIAGNOSTICAS CONF-EXAM-GEN DIAGNOSTICO EXAM-CLIN-ESP)

  );fin de la regla
```

Para la sección de Confirmar hipótesis diagnósticas por exámenes clínicos generales, utiliza los módulos HIPOTESIS-DIAGNOSTICAS, CONF-EXAM-GEN, DIAGNOSTICO Y EXAM-CLIN-ESP.

*Caso 3: Programa principal para confirmación por exámenes clínicos específicos.*

```
(defrule MAIN::r_inicial
  (declare (salience 7))
  =>
  (set-fact-duplication FALSE)
  (HIPOTESIS-DIAGNOSTICAS CONF-EXAM-ESP DIAGNOSTICO)

  );fin de la regla
```

Para la sección de Confirmar hipótesis diagnósticas por exámenes clínicos específicos, utiliza los módulos HIPOTESIS-DIAGNOSTICAS, CONF-EXAM-ESP y DIAGNOSTICO.

Adicionalmente, en el módulo MAIN se definen los hechos que son necesarios, para el funcionamiento de esa sección de SEDENTropic CLIPS.

## 2. Definición de variables globales

Para obtener la información en la interfaz grafica, se deben de definir variables globales en el módulo principal, que serán utilizadas en el control de preguntas, respuestas e información de los hechos.

*Ejemplo 6.5.2. Definición de variables para el módulo principal de la sección de diagnóstico diferencial:*

```
(defmodule MAIN (export ?ALL))

;*****
;                               Variables globales para interfaz gráfica
;*****

; Permiten llevar el control de las preguntas en la interfaz gráfica de VB6.
; Para asignar la pregunta correspondiente al proceso de diagnóstico.
  (defglobal  ?*vcPregGlobal* = "")

; Para recibir la respuesta por parte del usuario desde la interfaz gráfica.
  (defglobal  ?*vcRespGlobal* = "")

; Para pasar las respuestas validas (o permitidas) para cada una de las
preguntas.
  (defglobal  ?*vcRespValidas* = "")

; Para obtener el tipo de pregunta (Anamnesis, Exploración física y su entorno).
  (defglobal  ?*vcTipPreg* = 0)

; Bandera para controlar si una regla esta activada y necesita más datos.
  (defglobal  ?*vbSalida* = 0)

; Para asignar el nombre y atributos de los hechos que se insertan en la
interfaz.
  (defglobal  ?*vcNombre* = "")
  (defglobal  ?*vcNombreCDiag* = "")
  (defglobal  ?*vcAtributo* = (create$))
  (defglobal  ?*vcAtributo2* = (create$))

; Obtiene el nombre de la regla activada.
  (defglobal  ?*vcRegla* = "")
  (defglobal  ?*vcSigSin* = "")

; Solo para mantener explicación del examen físico.
  (defglobal  ?*vcExpExaFis* = "")

; Para asignar los valores del examen físico preliminar del paciente.
  (defglobal  ?*vcTemperatura* = 0
             ?*vcPulso* = -1
             ?*vcInten-Pulso* = NIL
             ?*vcPresionDiast* = 0
             ?*vcPresionSist* = 0
             ?*vcPruebaLazo* = "")
```

### 3. Modificación a las reglas

Para presentar los resultados en VB6 es necesario asignar los valores de salida a variables globales y detener la ejecución del programa, de forma que solo se active la regla que cumpla con las condiciones iniciales.

*Ejemplo 6.5.3. Modificación a la regla.*

Regla en CLIPS:

```
(defrule ANAMNESIS::r_PreguntaSignoPrim
  (declare (salience 11))
  ?hecho-dir <- (Pregunta      (ClaveDiag SigPrim)
                          (Preguntada FALSE)
                          (Pregunta ?Preg)
                          (RespValid $?Resp))

  =>
  (modify ?hecho-dir (Preguntada TRUE))

  (printout t crlf)
  (printout t ?Preg crlf)
  (printout t $?Resp " ")
  (bind ?Respuesta (read))

  (assert (SignoPrim (Nombre ?Respuesta)))
);fin de la regla
```

La regla para uso de la interfaz gráfica:

```
(defrule ANAMNESIS::r_PreguntaSignoPrim
  (declare (salience 11))
  ?hecho-dir <- (Pregunta      (ClaveDiag SigPrim)
                          (Preguntada FALSE)
                          (Pregunta ?Preg)
                          (RespValid $?Resp))

  =>
  (modify ?hecho-dir (Preguntada TRUE))

  ;Interfaz gráfica
  (bind ?*vbSalida* 1)
  (bind ?*vcPregGlobal* ?Preg)
  (bind ?*vcRespValidas* $?Resp)

  (halt)
);fin de la regla
```

La modificación incorpora los siguientes elementos:

- La instrucción (halt) permite parar el programa para cargar los datos en la interfaz gráfica.
- Se controla la ejecución del programa con la variable global ?\*vbSalida\* asignándole el valor de 1.
- Con la variable global ?\*vcPregGlobal\* se obtiene la pregunta que el sistema en VB6 utilizará en ese momento. Y en la variable global ?\*vcRespValidas\* se almacenan las respuestas válidas para la pregunta anteriormente formulada.

## 6. ANALISIS DE LA IMPLEMENTACION EN CLIPS

La herramienta utilizada para el desarrollo del SEDENTropic es CLIPS versión 6.21 (ver *PARTE I, CAPITULO II, Herramientas de desarrollo, Shells*), seleccionada a partir de características técnicas necesarias para la implementación de los componentes de la arquitectura del SE.

Estas características se dividen en 5 macro-criterios, que se muestran en el cuadro 6.6.1.

Cuadro 6.6.1. Características de CLIPS agrupadas en macro-criterios.

No	Macro-criterio	Descripción
1	Base de conocimientos y hechos.	Presenta distintas técnicas de representación del conocimiento, proporciona facilidad de almacenamiento y actualización..
2	Motor de inferencia	Permite el uso de diferentes técnicas de búsqueda.
3	Interfaces de comunicación	Facilidad de proveer interfaz amigable al usuario y, la capacidad para interactuar con lenguajes de programación y base de datos tradicionales.
4	Módulo de explicación	Proveen mecanismos que permitan seguir el razonamiento, retornando las reglas y hechos aplicados por el MI.
5	Características técnicas	Permita compatibilidad con distintos sistemas operativos, requerimientos de hardware mínimos (memoria RAM, procesador, etc.), soporte que brinda el proveedor, licencia para uso y distribución.

CLIPS es un shell que utiliza un lenguaje de programación simbólica. Proporciona una técnica de representación de conocimiento (*reglas de producción*) y un motor de inferencia a través del que se tienen disponibles una serie de técnicas de búsqueda, necesarias para la implementación del modelo de razonamiento.

En el ejemplo 6.6.1 se compara la programación simbólica en CLIPS con la programación tradicional en un pseudolenguaje.

En el cuadro 6.6.2 se muestra como se han implementado las claves diagnósticas en la base de hechos. El *slot* ClaveDiagAnt es utilizado para implementar la relación causal entre una clave diagnóstica y otra. Por ejemplo, la clave diagnóstica *Artralgias* será preguntada siempre que *Dolor-Retro* (dolor retrocular) o *Escalofrios* esté presente.

*Ejemplo 6.6.1. Programación simbólica en CLIPS.*

*Cuadro 6.6.2. Implementación de algunas claves diagnósticas.*

```

;.....;
;                               Hechos iniciales                               ;
;.....;
;
;
(Pregunta (ClaveDiag P-Lazo)
  (Pregunta "¿Cuál es el resultado de la prueba de lazo?")
  (RespValid Positivo Negativo))

(ClaveDiag (Nombre Escalofrios)
  (Etiqueta "Escalofrios")
  (Pregunta "¿Ha sufrido de Escalofrios?")
  (RespValid Si No)
  (SignoPrim Fiebre Aguda Intermitente))

ClaveDiag (Nombre Dolor-Retro)
  (Etiqueta "Dolor retrocular")
  (Pregunta "¿Presenta o hay antecedente de dolor retrocular?")
  (RespValid Si No))

(ClaveDiag (Nombre Artralgias) ; Dolor en las articulaciones
  (Etiqueta "Artralgias")
  (Pregunta "¿Presenta o hay antecedentes de artralgias?")
  (RespValid Si No)
  (ClaveDiagAnt Dolor-Retro Si Escalofrios Si)
  (SignoPrim Fiebre Cronica Continua))

(ClaveDiag (Nombre Ostiomelgia) ; Dolor en los huesos
  (Etiqueta "Ostiomelgias")
  (Pregunta "¿Presenta o hay antecedentes de ostiomelgia?")
  (RespValid Si No)
  (ClaveDiagAnt Dolor-Retro Si))

(ClaveDiag (Nombre Gastroint)
  (Etiqueta "Sangre al defecar ")
  (Pregunta "¿Se observó sangre al defecar?")
  (RespValid Si No)
  (ClaveDiagAnt Dolor-Retro Si P-Lazo Si))

(ClaveDiag (Nombre Dolor-Pant)
  (Etiqueta "Dolor de pantorrías")
  (Pregunta "¿Presenta dolor de pantorrillas?")
  (RespValid Si No)
  (ClaveDiagAnt Dolor-Retro No)
  (TipoPreg 201))

(ClaveDiag (Nombre Tos)
  (Etiqueta "Tos ")
  (Pregunta "¿Ha sufrido de tos?")
  (RespValid Si No)
  (ClaveDiagAnt Dolor-Retro No Escalofrios No)
  (TipoPreg 201))

```



Estos hechos pueden ser representados como un sistema de espacios de estado (ver figura 6.6.1), al que debe de aplicarse una técnica de búsqueda para encontrar una solución.

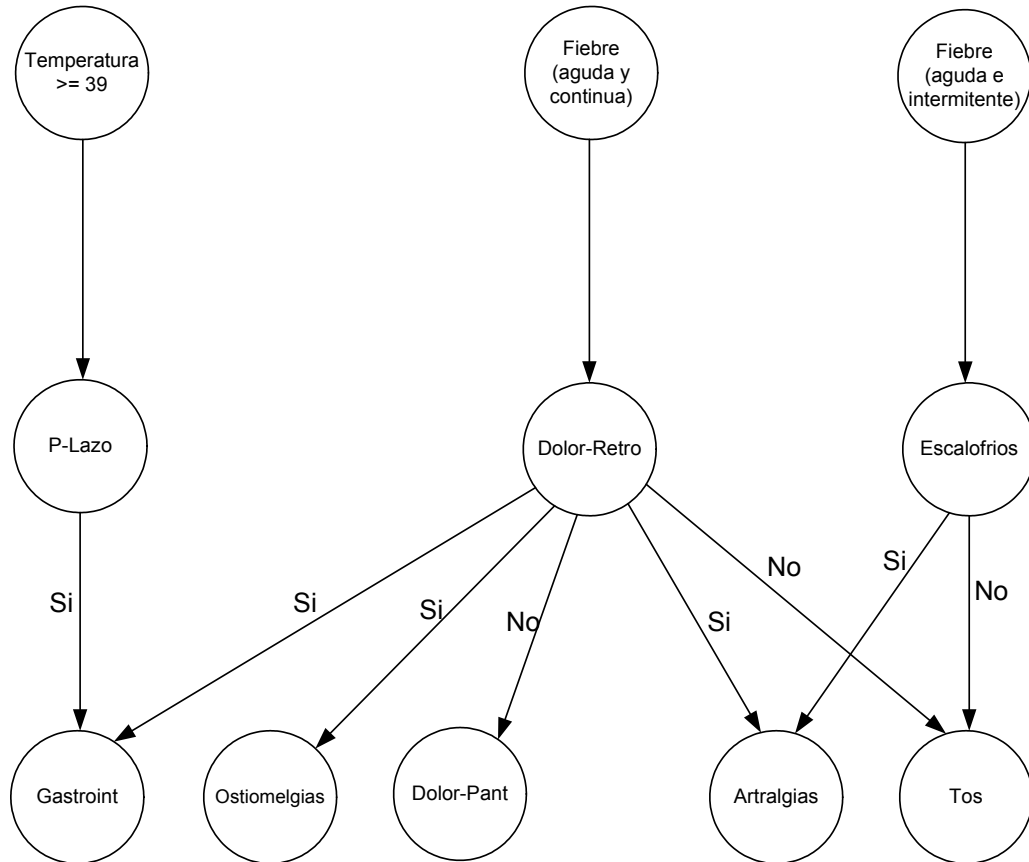


Figura 6.6.1. Representación de espacios de estado de los hechos propuestos en el ejemplo 6.6.1.

Al utilizar una estructura de programación tradicional serian necesarias una serie de instrucciones *if*. Por ejemplo, para preguntar por la clave diagnóstica *Gastroint* puede definirse una sentencia de la siguiente forma:

```
if ((Dolor-Retro.Presencia==Si or P-Lazo.Presencia==Si)
    and Gastroint.Presencia==Ignorado)
{
    Respuesta=Preguntar(Gastroint.Pregunta);
    Gastroint.Presencia=Respuesta;
};
```

Con esta estructura, el número de sentencias *if* es al menos igual al número de claves diagnósticas presentes en el sistema. Además, el número de condiciones en cada sentencia es igual al número de claves diagnósticas de las que depende la clave diagnóstica que se desea evaluar, más la condición de que esta no haya sido preguntada.

Otra forma de realizar esta búsqueda es a través de estructuras *if* anidadas, lo que parecería menos eficiente si se toma en cuenta que las claves diagnósticas de las que depende la clave diagnóstica que se desea evaluar ocurren de forma independiente.

Nótese que a través de estas instrucciones, no sería posible implementar el sistema de búsqueda que proveen los shells. Esto haría del proceso de razonamiento (artificial) un proceso determinístico, en el que la relación causal entre las variables está definida de forma explícita y directa. Por otro lado, los atributos de las claves diagnósticas requerirían de otra serie de instrucciones *if*.

Por ejemplo, el módulo de *Anamnesis* consta de 151 hechos, de los que 113 están destinados a expresar la relación causal entre las claves diagnósticas. El resto sirve para realizar las preguntas de los atributos.

Esto significa que existe (en esta etapa del diagnóstico diferencial) 113 claves diagnósticas. Lo que quiere decir que serían necesarias 113 instrucciones *if*. Supóngase además que en promedio, cada clave diagnóstica depende de 2. Esto significa que serían necesarias 3 condiciones en cada instrucción.

El lector puede hacerse una idea de lo que significaría implementar el SEDENTropic con un esquema tradicional, tomando en cuenta que está compuesto de 156 reglas y 292 hechos iniciales.

---

---

## CAPITULO VII: VALIDACION

---

En los sistemas tradicionales las pruebas están orientadas entre otros objetivos, a garantizar la integridad de los datos, la eficiencia del sistema y la confiabilidad de los resultados obtenidos. En un SE las pruebas van más allá de garantizar la calidad *procedimental* del sistema, tienen como objetivo principal la validación del conocimiento del experto.

Para diseñar las pruebas que se aplicaran al sistema, se deben tomar en cuenta algunas diferencias entre el diseño de pruebas para un sistema tradicional y las pruebas para un SE. Los sistemas expertos tratan de resolver problemas que normalmente resuelven humanos expertos, por lo que incorporan un alto grado de subjetividad.

Este fenómeno se presenta debido a la dificultad de encontrar otro experto que pueda colaborar en el desarrollo de la *Prueba de Turing*, a las que se debe someter al experto humano y el SE.

Otro problema que hay que enfrentar a la hora de validar un SE es que estos implican grandes espacios de búsqueda que resultan muy difíciles de modelar.

Estas diferencias hacen compleja la definición de las pruebas necesarias para validar el sistema experto de forma objetiva y clara.

Con el objetivo de conocer el proceso de validación se muestra a continuación el desarrollo de las secciones siguientes.

1. **Objetivos de la validación.**
2. **Criterios de evaluación.**
3. **Identificación de pruebas.**
4. **Prueba de Turing.**
5. **Análisis de los resultados.**

# 1. OBJETIVOS DE LA VALIDACION

## GENERAL

Comprobar que el modelo conceptual y formal del conocimiento del sistema es válido y correcto; y que ha sido implementado de forma correcta y eficiente.

## ESPECIFICOS

- Comprobar la validez del modelo de conocimiento.
- Comprobar que el prototipo implementado es correcto y válido.
- Verificar la satisfacción del usuario al interactuar con el sistema.

# 2. CRITERIOS DE EVALUACION

Dada la complejidad de los SE, existen múltiples criterios que se pueden evaluar en ellos. Estos criterios se pueden agrupar en tres aspectos: la validez del modelo, la correcta implementación del modelo y la usabilidad del sistema.

## VALIDEZ DEL MODELO

El modelo debe ser válido tanto en su conceptualización y formalización. Un modelo es válido si corresponde a una semántica adecuada, es decir, si el significado de los elementos del modelo es semánticamente adecuada. Los SE son inválidos cuando cometen fallos en la semántica, cuando las respuestas que dan no se corresponden con las que daría el experto.

Otro elemento que sirve de indicador para evaluar la validez del sistema, es si este satisface o no los objetivos fijados al inicio del desarrollo, es decir, si satisface las necesidades por las que fue desarrollado.

1. El sistema realiza el proceso de Anamnesis de la misma forma que el experto médico.
2. Ante un mismo caso, el sistema formula las mismas hipótesis diagnósticas que el experto médico, y envía los mismos exámenes clínicos (generales y específicos).
3. Una vez conocido los valores de los exámenes generales, las hipótesis son descartadas, sostenidas o confirmadas de la misma forma que el experto.

## **IMPLEMENTACION DEL MODELO**

Debe verificarse que el sistema implementado refleja correctamente el modelo del conocimiento.

## **LA USABILIDAD DEL SISTEMA**

Debe verificarse que el sistema sea agradable al usuario.

## **3. IDENTIFICACION DE PRUEBAS**

Para cumplir los objetivos especificados se requiere la realización de dos pruebas.

1. Prueba con el experto médico. Esta prueba tiene como objetivo cubrir dos de los criterios a evaluar en el sistema:
  - a. Validez del modelo Anamnesis. Esta prueba conlleva un alto grado de subjetividad en la medida en que es el experto médico quien validará el modelo del conocimiento implementado en el sistema a través de su uso, calificando al SE de acuerdo a la similitud entre el proceso de anamnesis, realizado por los dos.
  - b. Usabilidad del sistema. El experto médico al usar el sistema debe también realizar una evaluación del sistema desde el punto de vista del usuario.
2. Prueba de Turing. Con esta prueba se evaluará la validez del modelo en su totalidad, fundamentalmente sobre dos de los criterios a evaluar:
  - a. Validez del modelo de formulación de hipótesis: El objeto de evaluación será la hipótesis diagnóstica (conjunto de hipótesis) que el experto halla formulado, comparándolas con las hipótesis que el SE halla generado, al conocer ambos el mismo caso.
  - b. Validez del modelo de Anamnesis. Como una forma de retroalimentar la validación del proceso de Anamnesis será evaluada estableciendo una relación entre los signos y síntomas presentados en el cuadro inicial, los que el experto médico pregunte y los que el sistema halla preguntado.

## 4. PRUEBA DE TURING

### 4.1 METODOLOGIA

Se construyeron casos a partir de los modelos de conocimiento (redes semánticas). Los casos son presentados al experto de la siguiente forma:

1. Los signos vitales y el resultado de la prueba de lazo si aplica. La razón por la cual ha consultado el paciente (signo/síntoma primario), su periodo de evolución y otros atributos del signo/síntoma primario que puedan ser de utilidad.
2. Se agregan a la ontología del experto médico para ese caso particular, otros signos y síntomas que complementen el cuadro y signos encontrados en el examen físico.
3. Si el experto cree que la información es insuficiente, realizará más preguntas y serán respondidas basándose inicialmente en el cuadro clínico, que de no especificar un signo o síntoma se supone que este no está presente.

En caso de ser necesario contestar positivamente a una de las preguntas del experto o signos que él esperaría encontrar en el examen físico, el signo o síntoma será agregado al cuadro y se especificará que ha sido agregado para que el experto médico pueda continuar con el diagnóstico.

4. Cuando el experto llegue a formular las hipótesis, estas se presentarán en forma prioritaria, es decir, el doctor deberá especificar el orden de prioridad de sus sospechas, para que este pueda ser comparado con el sistema.

### 4.2 DETERMINACION DE LA MUESTRA

#### TAMAÑO TOTAL DE LA MUESTRA

El estudio esta dirigido hacia enfermedades tropicales descritas anteriormente, se tomará como población total la incidencia total de enfermedades tropicales registradas por el MSPAS: 888,255.

Esta población servirá como fuente facilitadora para el cálculo de los casos de prueba requeridos para estimar la validez del conocimiento de SEDENTropic. Se asume que las variables que se

desean analizar (p. ej.: *índice de aproximación del sistema al formular hipótesis diagnósticas* -en relación al experto medico) tienen una distribución normal, por lo que se tiene:

$$E = Z_{\alpha/2} \left( \frac{pq}{n} \right)^{1/2}$$

Donde:

E= Error máximo permisible.

$Z_{\alpha/2}$  = Coeficiente de confianza

p = 0.5

q = 1-p.

n =Tamaño de la muestra.

De donde se obtiene:

$$n = \frac{(Z_{\alpha/2})^2 pq}{E^2}$$

Para un *nivel de confianza* de 95% ( $Z_{\alpha/2}=1.96$ ), un *error máximo permisible* de 3% y p=0.5 se tiene:

$$n = \frac{(1.96)^2 (0.5)(0.5)}{(0.03)^2} = 1,067 \text{ casos de prueba}$$

La segmentación de la muestra se realiza a partir de los siguientes parámetros:

- Complejidad del diagnóstico.

La complejidad de diagnóstico de una enfermedad está asociada a la cantidad de enfermedades relacionadas con las que hay que hacer diagnóstico diferencial.

1. Febriles:

Enfermedades infecciosas (virales, parasitarias y bacterianas) que provocan elevación de la temperatura como síntoma principal. Corresponden a esta categoría: Dengue, Paludismo y Fiebre tifoidea.

2. Parasitosis hematológicas:

Enfermedades infecciosas del tipo parasitosis que generalmente no se manifiestan en fiebre como signo principal. Corresponden a esta categoría: Chagas, Paludismo crónico, Leishmaniasis visceral y Leishmaniasis cutánea.

3. Diarreicas:

Enfermedades infecciosas (bacterianas y parasitarias) que provocan problemas gastrointestinales: Amibiasis, Shigelosis, Giardiasis, Balantidiasis, Cólera y Parasitismo intestinal de poco compromiso: Oxiuros, Uncinaria, etc.

- Incidencia de la enfermedad.

El grado de incidencia de la enfermedad de acuerdo a las estadísticas del MSPAS es:

1. Diarreicas.
2. Febriles.
3. Parasitosis hematológicas.

Cuadro 7.4.1. Grado de incidencia de las enfermedades.

PUNTAJE OBTENIDO POR ORDEN DE APARICION	COMPLEJIDAD DEL DIAGNOSTICO (75%)	INCIDENCIA DE LA ENFERMEDAD (25%)
1 (4 puntos)	Febriles (33.3%)	Diarreicas (11.1%)
2 (3 puntos)	Parasitosis hematológicas (25%)	Febriles (8.3%)
3 (2 puntos)	Diarreicas (16.7%)	Parasitosis hematológicas (5.6%)

Siendo el total de puntos alcanzados por cada grupo de enfermedades la siguiente:

1. Febriles (44.4%)  $\cong$  474
2. Diarreicas (33.3%)  $\cong$  355
3. Parasitosis hematológicas (22.3%)  $\cong$  238



## 5. ANALISIS DE LOS RESULTADOS

Es necesario aclarar que no fue posible realizar la cantidad de pruebas citada anteriormente por razones de tiempo y costo para el proyecto. No obstante, se utilizarán los datos recolectados a manera de *prueba piloto*, para analizar los resultados de la implementación del sistema.

La prueba piloto<sup>68</sup> consta de 33 casos de prueba lo que representa un *nivel de confianza* del 90% y un *error máximo permisible* de 14.3%. A continuación se presenta el análisis de los resultados.

### ANALISIS DEL PROCESO DE ANAMNESIS Y EXAMEN FISICO

Para realizar el análisis de este proceso se defieron las variables descritas en el cuadro 7.5.1 y se obtuvieron los resultados de los casos de prueba, que se muestran en el cuadro 7.5.2.

*Cuadro 7.5.1. Variables del proceso de anamnesis y examen físico.*

VARIABLE	DESCRIPCION
<b>CDPCC</b>	Claves diagnósticas presentes en el cuadro clínico.
<b>CDSSE</b>	Claves diagnósticas solicitadas por el SE.
<b>CDESE</b>	Claves diagnósticas encontradas por el SE que son relevantes para el diagnóstico.
<b>CDNSSE</b>	Claves diagnósticas que no fueron solicitadas por el SE que forman parte del cuadro clínico.
<b>CDPEMACC</b>	Claves diagnósticas preguntadas por el experto ausentes en el cuadro clínico.
<b>CDPSEPEM</b>	Claves diagnósticas preguntadas por el SE que fueron preguntadas por el experto.

*Cuadro 7.5.2. Valores encontrados en el proceso de pruebas (anamnesis y examen físico).*

CDPCC	CDSSE	CDESE	CDNSSE	CDPEMACC	CDPSEPEM
217	574	466	71	67	37

<sup>68</sup> Los resultados de los casos de prueba, pueden ser consultados en documento en *CD, ETAPA IV, ANEXO 1*.

Las variables que más se utilizan para evaluar el rendimiento del SE son CDSSE, CDESE y CDNSSE, que dan una idea del grado de eficiencia del sistema experto al encontrar claves diagnósticas que son necesarias para formular hipótesis de la forma correcta.

$iAproxEAnamExaFis$ : Índice de aproximación del SE al encontrar claves diagnósticas relevantes para el diagnóstico diferencial.

$$iAproxEAnamExaFis = \frac{CDESE}{CDSSE} = \frac{466}{574} = 81.18\%$$

$OmisAnamExaFis$ : Omisiones del SE para encontrar claves diagnósticas relevantes para el diagnóstico diferencial.

$$OmisAnamExaFis = \frac{CDNSSE}{CDSSE} = \frac{71}{574} = 12.37\%$$

Las variables CDPEMACC y CDSEPEM complementan la información para poder analizar el grado de aproximación que existe entre el SE y el experto médico.

Además de dar una idea del apego que tienen los cuadro clínicos presentados a los modelos semánticos y a la realidad clínica.

$PorcSimCDEsp$ : Porcentaje de similitud en cuanto a claves diagnósticas esperadas, de acuerdo al signo primario.

$$PorcSimCDEsp = \frac{CDSEPEM}{CDPEMACC} = \frac{37}{67} = 55.22\%$$

## ANALISIS DE PROCESO DE FORMULACION DE HIPOTESIS

Para realizar el análisis del proceso de formulación de hipótesis, se defieron las variables que se describen en el cuadro 7.5.3 y se obtuvieron los resultados de las pruebas que se presentan en el cuadro 7.5.4.

Cuadro 7.5.3. Variables del proceso de formulación de hipótesis.

VARIABLES	DESCRIPCION
<b>NHSE</b>	Número de hipótesis generadas por el sistema
<b>NHEM</b>	Número de hipótesis generadas por el experto médico
<b>HDCEM</b>	Número de hipótesis que coinciden con las hipótesis generadas por el experto médico.
<b>HDNCEM</b>	Número de hipótesis que no fueron formuladas por el SE que fueron formuladas por el experto médico.
<b>HDFHEM</b>	Número de hipótesis que fueron formuladas por el SE que no fueron formuladas por el experto médico.

Cuadro 7.2.4. Valores encontrados en el proceso de pruebas (Hipótesis diagnósticas).

NHSE	NHEM	HDCEM	HDNCEM	HDFHEM
114	66	43	24	71

$iAproxRFormHip$ : Índice de aproximación relativa del SE al formular hipótesis diagnósticas.

$$iAproxRFormHip = \frac{HDCEM}{NHSE} = \frac{43}{114} = 37.71\%$$

$OmisFormHip$ : Porcentaje de omisión del SE al formular hipótesis diagnósticas.

$$OmisFormHip = \frac{HDNCEM}{NHSE} = \frac{24}{114} = 21.05\%$$

$DesFormHip$ : Porcentaje de desviación del SE al formular hipótesis diagnósticas.

$$DesFormHip = \frac{HDFHEM}{NHSE} = \frac{71}{114} = 62.28\%$$

$iAproxAFormHip$ : Índice de aproximación absoluta del SE al formular hipótesis diagnósticas.

$$iAproxAFormHip = \frac{HDCEM}{NHEM} = \frac{43}{66} = 65.15\%$$

## CONCLUSIONES

Para el desarrollo del sistema experto fue necesario obtener el *estado del arte* de la IA y profundizar en el estudio de los sistemas expertos.

Dos son las formas de abordar el estudio de la IA: como disciplina científica y como disciplina de ingeniería.

Desde el punto de vista científico, la discusión sigue centrándose en el significado de inteligencia y sus atributos. Científicos e investigadores de muchas disciplinas siguen ocupándose en desarrollar teorías y modelos más descriptivos de la inteligencia.

Desde el punto de vista de ingeniería parece haberse alcanzado una convergencia hacia un nuevo enfoque. En sus inicios, la IA estaba enfocada a *simular el comportamiento humano* en todas sus dimensiones. A lo largo de su desarrollo, los investigadores fueron observando las numerosas limitaciones que existen para lograr ese objetivo, lo que conllevó a la formulación de un enfoque más realista: construir sistemas que actúen racionalmente.

Algunos autores han realizado esfuerzos por definir de manera más específica el significado de *actuar racionalmente*. Estos esfuerzos han dado resultados que van desde descripciones vagas que se centran en características estrictamente técnicas hasta descripciones de tipo conductistas, sin llegar a una definición general de las características que debe exhibir un sistema para considerarse inteligente. En este estudio se proponen tres características:

**Instinto.** Es la conducta animal inconsciente (incluyendo a los humanos) que tiene como función reconocer de inmediato la utilidad o peligro de objetos y eventos que se encuentran en el medioambiente. El instinto es una forma primitiva de adaptación que garantiza al sistema la capacidad de supervivencia.

**Aprendizaje.** Es la modificación en la forma de reaccionar de un organismo frente a una situación experimentada anteriormente.

**Razonamiento.** Es la operación en la que partiendo de uno o varios juicios, se infiere un nuevo juicio que se desprende lógicamente de las premisas. El paso de las premisas a la conclusión siempre se efectúa siguiendo alguna regla de la lógica (regla de inferencia).

Estas características están presentes en distintos niveles de acuerdo al problema que se desea resolver

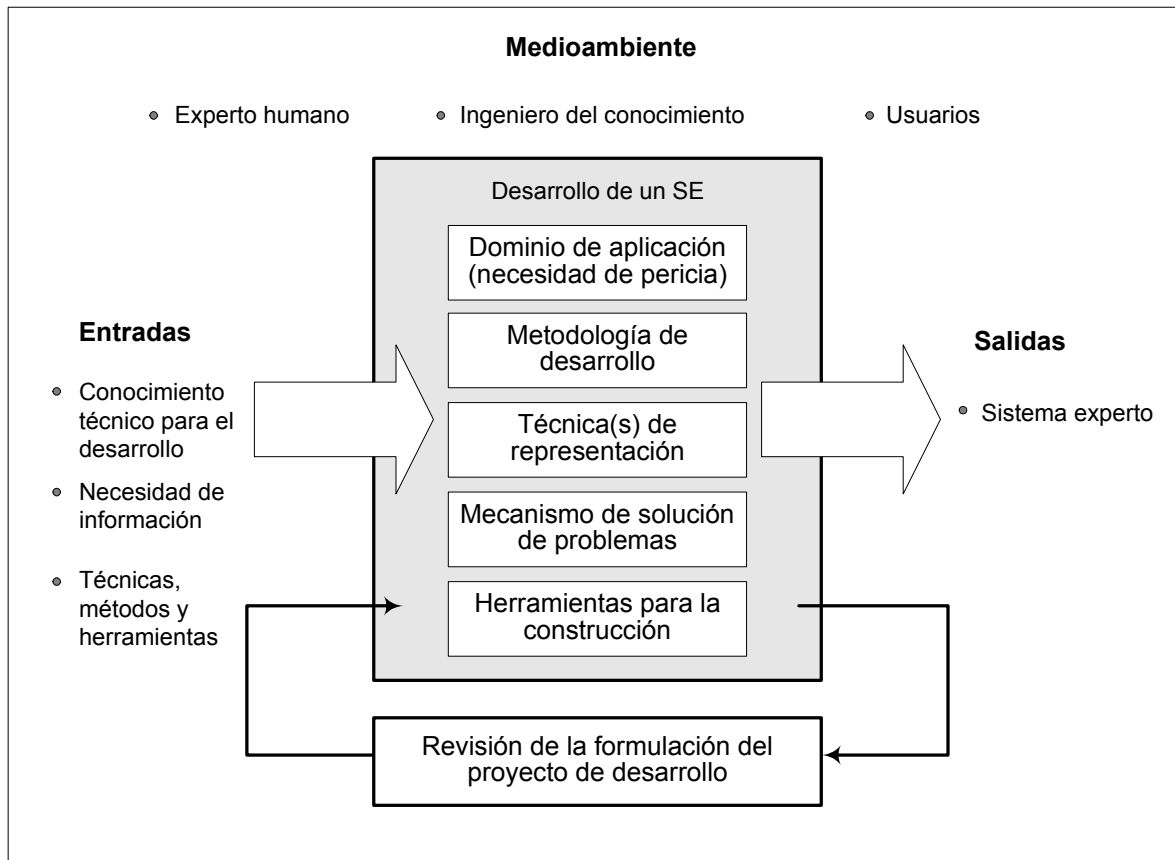
Este modelo general de sistemas inteligentes, está basado en la definición de IA que se propone en este estudio: **rama de las ciencias de la computación que se ocupa del estudio y modelado de las capacidades de aprendizaje, razonamiento y adaptación, para la construcción de sistemas que exhiban estas capacidades.**

La IA en su evolución se ha diversificado en áreas de especialidad. Algunas de las áreas más importantes son: *procesamiento de lenguaje natural, robótica, visión artificial, juegos y sistemas basados en conocimiento*. Esta última ha evolucionado en lo que ahora se ha convertido en una de las más importantes tendencias de desarrollo de la IA: *los sistemas expertos*. Tanto, que algunos autores la consideran un área independiente de los sistemas basados en conocimiento.

Los sistemas expertos tienen sus orígenes en un intento por desarrollar un sistema que resolviera problemas independientemente del campo de acción del que se tratara. El GPS logró sentar la base de desarrollo de los sistemas basados en conocimiento y demostró que para que un sistema fuera exitoso, debía de limitarse a un área de acción específica. Bajo este nuevo enfoque, los sistemas DENDRAL (1964), MYCIN (1974), PROSPECTOR (1978), R1 (1978) sentaron la base de desarrollo de sistemas expertos.

Este desarrollo proporcionó no solamente el precedente práctico. Junto con él, se fue construyendo una base teórica que ha servido para sustentar nuevas experiencias prácticas. La mayoría de los autores coinciden en algunas características que deben incluirse a la hora de definir los sistemas expertos. Estas se recogen en la definición de sistema experto propuesta en este estudio: **sistema basado en conocimiento que emite juicio o razonamiento válido, a través de un modelo aproximado de la estrategia de resolución de problemas utilizada por un experto humano en un dominio específico.**

La identificación de los elementos necesarios para el desarrollo de sistemas expertos es otro de los aportes que dejan las primeras experiencias de desarrollo. Estos elementos son: un dominio de aplicación, una metodología de desarrollo, una técnica de representación, un mecanismo de solución de problemas (técnicas de búsqueda) y una herramientas de desarrollo (lenguajes, shells, entre otros). El proceso de construcción puede ser descrito a través del siguiente enfoque de sistemas.



Uno de los protagonistas más importantes en este modelo es el ingeniero de conocimiento. La ingeniería del conocimiento proporciona técnicas y herramientas para la manipulación del conocimiento en todas sus etapas: adquisición, representación y validación. De una manera más formal, se define la Ingeniería de Conocimiento como: **la disciplina de la IA encargada de crear o seleccionar una metodología de desarrollo para dirigir y verificar sistemáticamente el proceso de adquisición, representación y validación del conocimiento.**

Muchos investigadores han propuesto metodologías de desarrollo alrededor de tres enfoques: Las metodologías de desarrollo derivadas del ciclo de vida de un sistema tradicional: **Modelo de ciclo de vida de Buchanan, metodología KLIC y metodología IDEAL.** Las metodologías basadas en modelos de conocimiento: **CommonKADS y MIKE,** y un método para la manipulación del conocimiento: **BGM.** El ingeniero de conocimiento debe seleccionar, fusionar o crear una metodología de acuerdo a la amplitud del problema que se desea resolver.

Las herramientas de desarrollo de sistemas expertos se dividen en: **lenguajes de alto nivel** (C++, Java, etc.), **lenguajes simbólicos** (Prolog y Lisp), **entornos de desarrollo, herramientas basadas en razonamiento** (CBR) y **Shells** (Jess, CLIPS y otros).

Por su naturaleza, los sistemas expertos tienen aplicabilidad en cualquier campo de la actividad humana en el que se requiera conocimiento no estructurado. En la actualidad, los campos en los que los sistemas expertos han tenido mayor aplicación son: **medicina, finanzas y gestión, industria, electrónica, informática, telecomunicaciones, educación, militar y agricultura.**

La experiencia práctica del proyecto ha sido realizada a través del desarrollo de SEDENTropic, un sistema experto para el diagnóstico de enfermedades tropicales.

La metodología utilizada para el desarrollo del SE es un híbrido que tiene como base el modelo de ciclo de vida de Buchanan. Reforzando la etapa de conceptualización a través del método BGM para la manipulación del conocimiento. Adicionalmente, se introdujeron conceptos del ciclo de vida IDEAL, para integrar elementos de la ingeniería del software y otros necesarios para el correcto modelado del proceso de razonamiento del experto.

La construcción de un sistema experto conlleva un aspecto que se aleja de la lógica de construcción de un sistema tradicional. Este proceso trata no solamente de hacer funcional el sistema desde el punto de vista del usuario, trata además de mantener la congruencia del modelo de conocimiento desarrollado en la fase de diseño con el modelo codificado.

El proceso de validación de un sistema experto requiere que el ingeniero de conocimiento este conciente de la dificultad de evaluar un modelo de conocimiento que lleva consigo un alto grado de subjetividad. El proceso de evaluación del SEDENTropic se realiza tratando de superar dos de las dificultades que se presentaron en el desarrollo de los sistemas expertos: la falta de tiempo del experto y la dificultad para obtener una metodología que garantice el mayor grado de objetividad de las pruebas.

Con los datos recolectados, se observa que el sistema experto se aproxima de forma satisfactoria al modelo de conocimiento semántico y al proceso de razonamiento del experto (65.15% de aproximación). No obstante, sugiere hacer nuevos ajustes al sistema para aumentar el grado de aproximación entre el sistema y el experto médico.

## RECOMENDACIONES

Esta investigación trata de agrupar los conceptos teóricos de la IA en general y profundizar en el área de los sistemas expertos. Para contar con un conocimiento más amplio en esta rama de las ciencias de la computación será necesario profundizar más en temas como las técnicas de representación del conocimiento.

La validación del modelo del conocimiento es parte fundamental del proceso de ingeniería del conocimiento. En la mayoría de los casos, los expertos no cuentan con el conocimiento de técnicas de representación de conocimiento utilizadas en estos modelos, por lo que el ingeniero de conocimiento debe convertir el modelo del conocimiento a una forma más fácil de interpretar y entender por el experto. Esto es necesario para asegurar que el modelo sea correctamente validado y para disminuir el tiempo invertido por el ingeniero de conocimiento y el experto en realizar esa actividad.

Para la construcción de un sistema experto debe buscarse que la técnica de representación utilizada para la formalización del modelo de conocimiento guarde la mayor consistencia posible con el lenguaje de programación o herramienta de desarrollo seleccionada. Esto permite hacer más fácil la validación del conocimiento, ya que en la medida en que estos dos elementos se acerquen, el proceso de mantenimiento se realiza de una forma casi directa entre el modelo semántico y el modelo codificado.

El proceso de mantenimiento es sobre el que recae el *control de la calidad* del sistema. Por esta razón, este proceso debe ser tomado en cuenta a la hora de realizar la planificación del proyecto, tratándose de no reducirle al mínimo el tiempo requerido, ya que esto puede comprometer el cumplimiento de los objetivos por los cuales fue desarrollado el sistema.

Es necesario realizar investigaciones y propiciar experiencias que permitan desarrollar nuevas formas de validación de sistemas expertos, tratando de reducir los sesgos que son propios de la evaluación de conocimiento experto.



# GLOSARIO

## A

---

### **Agente:**

"Una entidad que percibe su entorno a través de sensores; y actúa en él a través de efectores"  
[Russel, Norvig 1995].

### **Álgebra binaria:**

Fue desarrollada a principios del siglo XIX por el matemático George Boole para investigar las leyes fundamentales en que se basa el razonamiento humano. Esta álgebra tiene una característica especial: sus variables solo pueden adoptar dos valores, tradicionalmente denominados cierto y falso (es usual representarlos con 1 y 0 respectivamente), en estos casos, ambos dígitos pueden representar cualquier par de estados, con la condición de ser mutuamente excluyentes. Por esto se dice que no maneja cantidades en el sentido del resto de las matemáticas, sino valores lógicos binarios.

### **Algoritmos genético:**

Son algoritmos matemáticos aplicables a problemas de optimización, basados en la teoría de la evolución de Darwin, operando en un ciclo simple de selección y reproducción, implicando una recombinación y mutación del "material genético" de las soluciones.

Una "población" de posibles soluciones se genera al azar, se evalúan con respecto a un objetivo y las más aptas se combinan entre sí para producir nuevas soluciones. El ciclo se repite hasta llegar a una solución aceptable o al llegar a la situación óptima de una función.

### **Análisis morfológico:**

Consiste en describir una palabra en función de los prefijos, sufijos y raíces, que están presentes en ella. Las palabras se generan de tres maneras: morfología por inflexión (cambio de sentido por el contexto gramatical), derivación (palabra a partir de otra) y composición (unión de dos palabras).

### **Análisis semántico:**

Es el proceso de interpretación de algunos problemas que convierten a la semántica en algo más que una representación de funciones.

**Aprendizaje:**

Modificación en la forma de reaccionar de un organismo frente a una situación experimentada previamente.

**C**

---

**Cibernética:**

Es la ciencia que se ocupa de los sistemas de control y de comunicación en las personas y en las máquinas, estudiando y aprovechando todos sus aspectos y mecanismos comunes.

**Ciencias cognoscitivas:**

Comprende las siguientes disciplinas: lingüística, psicología cognoscitiva, ciencia del cerebro, varias áreas de la filosofía; filosofía de la mente, epistemología, lógica, e informática.

**Ciencia del cerebro:**

Analiza los procesos biológicos que sustentan todos los fenómenos del conocimiento.

**Cognoscitivo:**

Adjetivo que denota la capacidad de conocer. Los sistemas con capacidades cognoscitivas son aquellos que cuentan con un subsistema de captura de información del medio ambiente, es decir; aquellos para los que el ambiente es accesible.

**Conceptualización:**

Consiste en el análisis del conocimiento del experto, y la estructuración en un modelo mental de la forma en que aplica dicho conocimiento al resolver problemas del dominio específico.

**Convolución:**

Es un concepto matemático, utilizado en visión artificial. Consiste en el cálculo de la respuesta de un sistema, a una entrada arbitraria o impulso.

**D**

---

**Dedución:**

Razonamiento en el cual el proceso parte de lo universal y lo refiere a lo particular; para obtener una conclusión.

## E

---

### ***Emparejamiento:***

Consiste en determinar si los hechos existentes en un momento determinado, pueden cumplir todas las premisas de una regla.

### ***Epistemología:***

Rama de la filosofía cuyo objeto lo constituye el problema del conocimiento, en cuanto a examinar si el conocimiento es posible, sus fundamentos, y sus formas.

### ***Espacio de estados:***

En la formulación de un problema de Inteligencia artificial, en donde normalmente hay un estado inicial y un estado final, u objetivo, el conjunto de todas las posibles soluciones potenciales del estado inicial al estado final óptimo, es a lo que se denomina espacio de estados.

### ***Espectro:***

Conjunto de rayos procedentes de la descomposición del haz de luz.

### ***Espectrofotometría:***

Análisis de la intensidad de los correspondientes lugares de dos espectros luminosos.

### ***Explosión combinatoria:***

Cuando los números aumentan exponencialmente, un pequeño exponente puede producir resultados astronómicos. En la construcción de un espacio de problema sería imposible tener en cuenta, al mismo tiempo, todas las combinaciones de fenómenos de un mundo real multivariable.

## F

---

### ***Filosofía de la mente:***

Busca explicar la arquitectura y el funcionamiento de los fenómenos del conocimiento.

### ***Formalización del conocimiento:***

Selección y aplicación de la técnica de representación que más se adecue al modelo de resolución del experto.

### ***Fotometría:***

Parte de la óptica que trata de la medición de la intensidad de la luz.

## H

---

### ***Heurística:***

La palabra “heurística” se deriva del griego heuriskein, que significa “encontrar” o “descubrir”. El término técnico “heurística” ha adoptado diversas connotaciones a lo largo de la historia. A mediados de los cincuenta, “heurística” se aplicaba al estudio de métodos para descubrir e inventar técnicas para la resolución de problemas, especialmente relacionados con demostraciones matemáticas.

El término heurístico es utilizado como opuesto a algorítmico. Por ejemplo: Newell, Shaw y Simon declararon en 1963: “Cuando un proceso afirma poder resolver un problema determinado, pero no ofrece ninguna garantía de ello, se dice que es la heurística de dicho problema”. Cabe aclarar que en un algoritmo de búsqueda heurística no es aleatorio, trabaja con pasos algorítmicos hasta llegar a su resultado, aunque algunas veces no se puede asegurar la cantidad de pasos que deben realizarse durante la búsqueda: e incluso, en ocasiones no se puede asegurar la calidad de la solución obtenida.

Desde el inicio, la heurística ha estado presente en el desarrollo de los sistemas expertos, y se consideraba como las “reglas prácticas” utilizadas por los expertos para generar buenas soluciones sin tener que realizar búsquedas excesivas.

## I

---

### ***Inducción:***

Es el proceso de obtención de reglas generales partiendo de casos concretos. Usado principalmente en sistemas de aprendizaje automático.

### ***Interpretación:***

El término proviene directamente del griego “Hermeneía”, cuyo significado es, “expresión de un pensamiento”. Es la Actividad descifradora de un segundo sentido no manifiesto.

## L

---

### ***Lenguaje:***

Conjunto o sistema de símbolos usados para la comunicación. Se gobiernan mediante reglas que restringen la manera como se usan los símbolos que comunican el mensaje deseado.

**Léxico:**

Noción abstracta que abarca todo el vocabulario de una lengua, de la forma en que es concebido en el cerebro de todos los hablantes, y la información sintáctica y semántica asociada a cada entrada.

**Lingüística:**

Estudio teórico del lenguaje que se ocupa de métodos de investigación aplicados a este, y de elementos comunes a las diversas lenguas.

**Lógica:**

Rama de la filosofía cuyo objeto es la enunciación de las leyes que rigen los procesos del pensamiento humano; así como de los métodos que han de aplicarse al razonamiento y la reflexión para lograr un sistema de raciocinio que conduzca a resultados que puedan considerarse como certeros o verdaderos

**Lógica formal:**

Ciencia que estudia los actos del pensar –concepto, juicio, razonamiento, demostración- desde el punto de vista de su estructura formal o forma lógica.

**Lógica matemática:**

También llamada lógica simbólica, iniciada con las ideas de Leibniz, es una rama de la lógica desarrollada a partir del siglo XIX especialmente en Inglaterra con los trabajos de Frege, Boole, Russell y Whitehead, dirigida a construir cálculos lógicos rigurosamente formalizados, que permitieron aplicar a los problemas lógicos los procedimientos matemáticos.

**Lógica multivaluada:**

Es una extensión de la lógica de predicados para modelar razonamientos “inseguros”, en los que existen grados de creencia que se cuantifican en una escala. Dentro de ésta, se considera el caso de la lógica de predicados de primer orden, y se toma en cuenta una escala de infinitos valores entre “0” (falso) y “1” (verdadero).

## **M**

---

**Molibdeno:**

Es un metal blanco, duro, dúctil y maleable. Sirve para fabricar aceros especiales, a los que proporciona mayor dureza y resistencia.

## O

---

### **Ontología:**

De origen filosófico, significa: “teoría particular del ser o de la existencia”. Expresa el ser de las cosas, en cuanto corresponde exactamente al nombre que se le da; es la conformidad de un objeto con su naturaleza, representada por la idea.

Aplicada a la Inteligencia artificial, significa: la representación del conocimiento acerca del dominio mediante un lenguaje declarativo. El conjunto de objetos que pueden ser representados se denomina *universo del discurso*. Podemos describir la ontología de un programa, definiendo un conjunto de terminos de representación.

## P

---

### **Paradigma:**

Conjunto de teorías que comparten los miembros de una comunidad; y que aporta soluciones concretas de problemas que, empleadas como modelos o ejemplos, pueden remplazar reglas ayudando a comprender ciertos aspectos de la realidad.

### **Percepción:**

Parte de la representación conciente del entorno, que en un momento específico está siendo activada en el cerebro por las entradas sensoriales. (G.Sommerhoff-1994).

### **Pericia:**

Aplicación del conocimiento de forma eficiente para la resolución de problemas.

### **Pragmática:**

Estudio del modo en que se utiliza el lenguaje en determinadas circunstancias que pueden modificar la interpretación del mensaje. Desde el punto de vista de la inteligencia artificial, consiste en traducir la representación basada en conocimiento para que sea ejecutada por un sistema.

### **Principio de resolución automática:**

Es el que se plantea un algoritmo completo para la demostración de teoremas para la lógica de primer orden, si se desea mayor información consultar: Russell y Norvig (1996), sección 9.6, págs. 293 – 302.

***Procesos mentales del experto:***

Es la forma en que el experto aplica el conocimiento para plantear una alternativa de solución.

***Prospección:***

Conjunto de métodos y técnicas empleadas en la búsqueda de yacimientos de minerales útiles, aguas subterráneas e hidrocarburos líquidos o gaseosos.

***Proposición:***

Una proposición es una frase o expresión a la que se puede asignar el valor lógico de *verdadero* o de *falso*

***Prototipo:***

Es un sistema completamente funcional que trabaja en un ambiente experimental.

***Psicología cognoscitiva:***

Ciencia que investiga todos los fenómenos que definen el conocimiento; como la percepción, atención y memoria.

## R

---

***Razonamiento:***

Es el proceso cognitivo por el cual se realizan inferencias acerca de datos para interpretar una situación basado en restricciones del pasado, del presente o del futuro, que influyen sobre el resultado.

***Red neuronal:***

Programa de Inteligencia Artificial capaz de simular algunas de las funciones de aprendizaje del ser humano (basado en la estructura de las neuronas del cerebro). Sin reglas convencionales, una red neuronal obtiene experiencia analizando automática y sistemáticamente una cantidad de datos, para determinar reglas de comportamiento. En base a estas reglas, puede realizar predicciones sobre nuevos casos.

***Representación del conocimiento:***

Serie de convenciones sintácticas y semánticas que hacen posible describir aspectos del entorno.

## S

---

**Semántica:**

Estudia las relaciones del signo lingüístico con el objeto que representa.

**Signo lingüístico:**

Unidad mínima de la oración, constituida por un significante y un significado.

**Silogismos:**

Argumento que consta de tres proposiciones, la última de las cuales se deduce de las otras dos.

**Sintaxis:**

Conjunto de reglas de estructuración de lenguajes humanos naturales o sintéticos (por ejemplo, computacionales), se denominan también reglas gramaticales, que permiten formar expresiones válidas.

## T

---

**Tautología:**

Sentencia válida que no contiene variables. Término utilizado en el teorema de completitud, que se enuncia: Una fórmula  $P_x$  puede ser introducida en una demostración si  $P_x$  es consecuencia lógica de las fórmulas precedentes.

**Teletipo:**

Máquina que realiza directamente la transmisión de señales por teclado y la recepción en caracteres tipográficos.

**Teorema de la intratabilidad:**

Se dice que una clase de problemas se denomina intratable si el lapso necesario para la resolución de casos particulares de dicha clase crece al menos exponencialmente con el tamaño de tales casos.

**Teorema de completitud de Godel:**

Si  $A$  es una consecuencia lógica de  $K$  entonces  $A$  es una tautología en  $A$ . Es decir:

$K \vdash A$ , si y sólo si  $K \models A$ .



- a) Si  $A$  es válido en  $K$ , entonces  $A$  puede ser deducido de  $K$ . En otras palabras, existe un procedimiento finito en  $K$ , el cual nos permite deducir  $A$ . Sin embargo, nunca podremos probar que  $A$  es un teorema, si  $A$  no lo es.
  
- b) En principio, existe un procedimiento que probará  $G$ , si  $G$  es un teorema; pero estos procedimientos pueden nunca terminar si  $G$  no lo es.

***Torres de Hanoi:***

Juego que usualmente es utilizado para ejemplificar la aplicación de técnicas de algoritmos recursivos. Utiliza la siguiente mecánica: dispone de tres torres (A, B, C); en la torre A se encuentran  $n$  discos de tamaño decreciente. El objetivo, es mover uno a uno los discos desde la torre A hasta la C, utilizando el poste B como auxiliar. Como restricción, nunca debe haber un disco de mayor radio sobre otro de menor radio al finalizar el traslado al poste C.

# BIBLIOGRAFIA

## PARTE I: INVESTIGACION PRELIMINAR

### LIBROS:

CASTRO Marcel, 2002.

**SISTEMAS EXPERTOS.**

Pág. 5.

COMPUTING Systems, Sandia National Laboratories, Julio 2003

**JESS, THE RULE ENGINE FOR THE JAVA PLATFORM**

Ernest J. Friedman-Hill,

Livermore, CA

Version 6.1p4

GARCIA, Carlos E., 2000

**SISTEMAS: MARCO CONCEPTUAL**

Universidad de El Salvador

El Salvador.

GUERRERO Bote, Vicente Pablo y Cristina López Pujalte

**INTELIGENCIA ARTIFICIAL Y DOCUMENTACIÓN.**

Facultad de Biblioteconomía y Documentación de la Universidad de Extremadura.

Revista Iberoamericana de Inteligencia Artificial

Págs. 65-95

HENAO Cálad, Mónica, 1998

**LA ADQUISICION DEL CONOCIMIENTO DENTRO DE LA INGENIERIA DEL CONOCIMIENTO.**

Revista Universidad Eafit

La adquisición del conocimiento, manipulación y pruebas

Pág. 53-60

KRICK, Edward V. , 1996

**INTRODUCCION A LA INGENIERIA Y AL DISEÑO EN LA INGENIERIA**

Editorial Limusa, S.A. de C.V., Grupo Noriega Editores

M.M. Rosental y P.F. Iudin,

**DICCIONARIO DE FILOSOFIA,**

pág. 279.

MARÍN, R.; J. T. Palma; E. Paniagua; F. Martín, 2000

**INGENIERIA DEL CONOCIMIENTO. DE LA EXTRACCION AL MODELADO DE CONOCIMIENTO.**

Revista Iberoamericana de Inteligencia Artificial No.11 (2000),

Modelo de ciclo de Vida de Buchanan, KLIC, CommonKads, MIKE,

Págs. 46 –72, 200 –213.

NEBENDAHL, Dieter, 1988

**SISTEMAS EXPERTOS. INTRODUCCION A LA TECNICA Y APLICACION.**

Segunda Edición,

Siemens Aktiengesellschaft & MARCOMBO, S.A.

Págs. 72-81, 83-91, 99-107, 133, 167, 168.

RICH, Elaine y Kevin Knigth, 1994

**INTELIGENCIA ARTIFICIAL.**

Segunda Edición,

Mc Graw Hill,

Págs. 3 - 6, 610.

ROLSTON, David W., 1990

**PRINCIPIOS DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL Y SISTEMAS EXPERTOS.**

McGraw Hill,.

Págs. 7, 9, 13, 31 – 64,199 - 220.

RUSELL, Stuart y Peter Norving,1996

**INTELIGENCIA ARTIFICIAL: UN ENFOQUE MODERNO.**

Primera Edición

PRENTICE HALL HISPANOAMERICANA, S.A.

Págs. 3-51, 101, 595-616

SANCHEZ y Beltrán, J.P., 1990

**SISTEMAS EXPERTOS. Una metodología de programación.**

Macrobit editors tm. Ra-ma.,

Págs. 19- 22, 27, 38, 58-62, 81-94, 200-201, 213 - 220.

SAMPIERI – Collado – Lucio

**METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION, SEGUNDA EDICION.**

MacGraw-Hill Interamérica Editores, S.A. de C.V.

México D.F. 1998

SELL, Peter S., 1992

**SISTEMAS EXPERTOS PARA PRINCIPIANTES.**

Primera Edición

Editorial Limusa, Grupo Noriega Editores, 1992

Págs.9 – 19, 21-27.

**SITIOS WEB:**

**AGENTES INTELIGENTES.**

<http://uoc.terra.es/art/uoc/vicente0302/tfc/mvicentelp12.html>

AMERICAN Association of Artificial Intelligence

**MOLGEN.**

<http://www.aaai.org/Pathfinder/html/faqs.html#bhist35>

AMERICAN Association of Artificial Intelligence

**ROBOTS.**

<http://www.aaai.org/Pathfinder/html/robots.html>

OTROS:

<http://www.aaai.org/Pathfinder/html/art.html>

<http://www.aaai.org/Pathfinder/html/autveh.html#bhist20>

BUCHANAN, Bruce, 2002

**HISTORY OF AI.,**

American Association of Artificial Intelligence

Introduction, Ancient History, 20th century, - First Half, Modern History

<http://www.aaai.org>

CARDENAS Fernández, Joaquin,

**CURSO DE DOCTORADO. SISTEMAS EXPERTOS.**

Universidad de Sevilla, Escuela Superior de Ingenieros, Departamento de Ingeniería de Organización y Gestión de Empresas,

<http://www.ucm.es/>

COLMERAUER, Alain,

**PROLOG.**

American Association of Artificial Intelligence

<http://www.aaai.org/Pathfinder/html/sys.html>

**COMMONKAD.**

COMMONKADS Oficial site,

<http://www.commonkads.uva.nl/page-commonkads.html>

COMPUTER. org

**CONTROVERSIAS EN IA.**

[http://www.computer.org/intelligent/articles/AI\\_controversies.htm](http://www.computer.org/intelligent/articles/AI_controversies.htm)

CRIADO Briz, D. José Mario, Técnico en Informática de Gestión, 2000-2001

**TUTORIAL DE INTRODUCCIÓN A LOS SISTEMAS EXPERTOS.**

Colegio Universitario de Segovia, adscrito a la Universidad Complutense de Madrid,

<http://www.ingenieroseninformatica.org/>

FERNÁNDEZ, Rodríguez y Quevedo, ML-Lab:

**HERRAMIENTA DE EXPERIMENTACION FLEXIBLE PARA APRENDIZAJE AUTOMATICO.**

[ftp://ftp.aic.uniovi.es/publications/Machine\\_Learning/pdf/ml-lab.pdf](ftp://ftp.aic.uniovi.es/publications/Machine_Learning/pdf/ml-lab.pdf)

GARCIA Martínez, Rossi, y Britos,

**METODOLOGIAS DE EDUCACION DE CONOCIMIENTO PARA LA CONSTRUCCION DE SISTEMAS INFORMATICOS EXPERTOS.**

HENAO, David

**INTELIGENCIA ARTIFICIAL.**

<http://www.monografias.com/trabajos12/inteartf/inteartf2.shtml>

LAIRD, John E. y Paul S. Rosenbloom, 1992

**THE RESEARCH OF ALLEN NEWELL.**

IA Magazine, American Association of Artificial Intelligence

[www.aaai.org](http://www.aaai.org)

McCARTHY, John,

**A PROPOSAL FOR THE DARTMOUTH SUMMER RESEARCH PROJECT ON ARTIFICIAL INTELLIGENCE.**

<http://www-formal.stanford.edu/jmc/history/dartmouth/dartmouth.html>.

McCARTHY, John,

**LISP LANGUAGE.**

American Association of Artificial Intelligence

<http://www.aaai.org/Pathfinder/html/sys.html>.

MORALES Luna, Guillermo, 2002

**INTRODUCCION A LA LOGICA DIFUSA.**

Centro de investigación y estudios avanzados del IPN (CINVESTAV-IPN), México.

<http://www.cinvestav.mx/>

Paginas: 1-12.

SAMPER Márquez, Juan José

**SISTEMAS EXPERTOS. EL CONOCIMIENTO AL PODER**

Universidad de Granada, España, 2002

<http://www.psicologiacientifica.com/articulos/ar-jsamper01.htm>

**SISTEMAS EXPERTOS.**

<http://www.esi2.us.es/~dco/sistemas.htm>

TAPIA B, Maria Antonieta

**METODOLOGIA DE INVESTIGACION, APUNTES**

INACAP, Chile, 2000.

<http://www.angelfire.com/emo/tomaustin/Met/metinacap.htm>

UNIVERSIDAD de Stanford

**PROPUESTA DE CONFERENCIA DE DARTMOUTH.**

<http://www-formal.stanford.edu/jmc/history/dartmouth/dartmouth.html>

VON Der Becke, Carlos.

**EL TEST DE TURING.**

<http://web1.cti.unav.es/asignaturas/ia/tsld013.htm>

WALLACE, Dr. Richard.

**ALICE.**

[www.alicebot.org](http://www.alicebot.org)

**TESIS:**

BIZZARRO Rodríguez, Vincenzo Mauro; Sánchez Pinto, Jenny Carolina; Soderberg Gutiérrez, Katya María; Urrutia Maestre, Katya María; 1994

**EVALUACION DE LA UTILIZACIÓN DE LA INGENIERIA DEL CONOCIMIENTO Y LOS SISTEMAS EXPERTOS PARA LA SOLUCION DE PROBLEMAS DE INGENIERIA INDUSTRIAL EN EL SALVADOR.**

**UCA**

San Salvador, El Salvador.

Págs. 3-4.

ESCOBAR Lemus, Hugo Nelson, Maccagno, Claudio Roberto; Mena Hernández, Jaime Orlando; 1994

**APLICACION DE SISTEMAS EXPERTOS EN EL DIAGNOSTICO DE ENFERMEDADES DE TRANSMISION SEXUAL.**

**UCA**

San Salvador, El Salvador.

Págs. 4-6.

## **PARTE II: DESARROLLO DE UN SISTEMA EXPERTO**

### **LIBROS:**

BATES, Dra. Bárbara. 1988

**PROPEDÉUTICA MÉDICA.**

Tercera edición

HARLA SA. DE SV. México

Págs. 1 –312, 337 – 378, 445 - 650.

BOTERO, David y Restrepo, Marcos. 1998

**PARASITOSIS HUMANAS.**

Corporación para Investigaciones Biológicas

Tercera edición

Editorial HARCOURT BRACE. Medellín, Colombia

Págs. 3 –450.

CLIPS Referent manual

**VOLUME I: BASIC PROGRAM GUIDE. VERSION 6.21**

Junio 2003.

CONACYT (Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología), Junio de 1999

**ESTADISTICAS E INDICADORES DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA 1994-1998**

Gobierno de El Salvador, Ministerio de Economía

San Salvador, El Salvador

LASO Guzmán, Francisco Javier, Enero de 1998

**DIAGNOSTICO DIFERENCIAL EN MEDICINA INTERNA.**

Universidad de Salamanca.

HARCOURT BRACE. Madrid, España

Págs. 3 –450.



OCEANO, SA .1996

**DICCIONARIO DE MEDICINA OCEANO MOSBY.**

GRUPO EDITORIAL OCÉANO, SA.

Barcelona, España

SALVAT EDITORES, SA.. 1984

**DICCIONARIO TERMINOLOGICO DE CIENCIAS MEDICAS.**

12ª edición.

Editorial SALVAT EDITORES, SA.

Barcelona, España

UNIVERSIDAD “José Simeón Cañas”, Ene.-Feb. 2003

**REVISTA ESTUDIOS CENTROAMERICANOS (ECA)**

UCA Editores,651-652

San Salvador, El Salvador

**NORMAS, PROTOCOLOS, MANUALES Y PROGRAMAS DEL MSPAS:**

1991

**MANUAL DE PROCEDIMIENTOS TECNICO ASMINISTRATIVOS PARA LA VIGILANCIA Y CONTROL DEL COLERA.**

Máxima Alerta Frente al Cólera

El Salvador, CA.

1992, 20 –24 de julio

**CONSULTA TECNICA AL PROGRAMA DE CONTROL DE LA MALARIA EN ES**

Ministerio de Salud Publica y Asistencia Social (MSPAS)

San Salvador, El Salvador, CA.

1993

**LEISHMANIASIS EN EL SALVADOR**

Proyecto Autogestión Comunitaria

Ministerio de Salud Publica y Asistencia Social (MSPAS)

Unidad de Epidemiología

San Salvador, El Salvador, CA.

1993

**ASPECTOS GENERALES DEL PROGRAMA DE MALARIA**

Ministerio de Salud Publica y Asistencia Social (MSPAS)

San Salvador, El Salvador, CA.

1997

**PROTOCOLO PARA ATENCION INTEGRAL DE SALUD NIVEL**

Proyecto Autogestión Comunitaria

Ministerio de Salud Publica y Asistencia Social (MSPAS)

Organización Panamericana de Salud (OPS)

Gobierno de Suecia

San Salvador, El Salvador, CA.

2002, Marzo

**NORMA PARA LA ATENCION, CONTROL Y PREVENCION DEL DENGUE**

Ministerio de Salud Publica y Asistencia Social (MSPAS)

Unidad de Epidemiología

San Salvador, El Salvador, CA.

Págs. 2 –59.

2002, Mayo

**NORMA DE ATENCIÓN DE CHAGAS**

Ministerio de Salud Publica y Asistencia Social (de Guatemala)

Programa de Enfermedades Transmitidas por Vectores

Guatemala, CA.

Págs. 1 – 7.

**SITIOS WEB:**

BALLESTEROS, Dr. Julio Vignolo y Dra. Ofelia López Ramos

**ENFERMEDADES TRANSMISIBLES. DENGUE.** Enero, 2003

Ministerio de Salud Pública

Dirección General de la Salud

<http://www.femi.com.uy/dengue/dengue.htm>

RAMOS Hernández, Héctor Manuel. M.d.

**PROTOCOLO DIAGNOSTICO Y TERAPEUTICO 2000, PARA LA ENFERMEDAD DE CHAGAS.**

HOSPITAL NACIONAL ZACAMIL.

DEPARTAMENTO DE MEDICINA INTERNA.

[http://www.geocities.com/hospital\\_zacamil/chagas.html](http://www.geocities.com/hospital_zacamil/chagas.html)

**ENCICLOPEDIA MEDICA EN ESPAÑOL**

MEDILINE PLUS

<http://www.nlm.nih.gov/>

**MINISTERIO DE SALUD PUBLICA Y ASISTENCIA SOCIAL  
ESTADISTICA Y CENSOS**

<http://www.mspas.gob.sv>

**OECD Macrothesaurus**

**ENFERMEDADES TROPICALES**

<http://info.uibk.ac.at/info/oced-macroth/es/2187.html>

ONDASALUD

**ENFERMEDADES TROPICALES, TROPICO Y SALUD**

<http://www.ondasalud.com/edicion/indice/0,2457,1602,00.html>

**TESAURO ALFABETICO CONCEPTUAL**

[http://pci204.cindoc.csic.es/tesauros/SpinTes/html/SPI\\_E16.HTM](http://pci204.cindoc.csic.es/tesauros/SpinTes/html/SPI_E16.HTM)

UNIVERSIDAD "José Simeón Cañas", 2002

**ANALISIS DE COYUNTURA ECONOMICA 2000-I**

Departamento de Economía UCA

[www.uca.edu.sv/nuevo/primersemestre2000.html](http://www.uca.edu.sv/nuevo/primersemestre2000.html)

---

---

# **ANEXOS**

---

---

## MANUAL DE USUARIO

### SEDTropic

SISTEMA EXPERTO PARA EL DIAGNOSTICO DE ENFERMEDADES TROPICALES

---

## BIENVENIDOS

SEDTropic es un sistema experto capaz del diagnosticar las siguientes enfermedades tropicales:

### *Febriles:*

- Dengue.
- Fiebre tifoidea.
- Paludismo.

### *Diarréicas:*

- Amibiasis.
- Balantidiasis.
- Cólera.
- Giardiasis.
- Shigellosis.

### *Infecciones sanguíneas:*

- Leishmaniasis.
- Chagas.





El sistema realiza un diagnóstico diferencial, atendiendo a la información que introduzca el usuario. Genera hipótesis diagnósticas que luego son confirmadas con el resultado de los exámenes generales y/o específicos.

SEDTropic cuenta con herramientas para ser utilizado en diagnósticos reales de pacientes, como para el aprendizaje; pues permite realizar el proceso de diagnóstico sin tener que relacionarlo a un paciente en específico.

## CONVENCIONES DEL MANUAL

Para facilitar la comprensión del manual, se han establecido las siguientes convenciones:

- Se escribirá en letra negrita las secuencias de comando, los nombres de botones, menú y secciones importantes de formularios.
- Se utilizará la siguiente imagen para identificar información importante sobre el uso de la aplicación, que le puede ayudar a evitar una utilización incorrecta, lo que implica pérdida de información y tiempo. 
- Se utilizará la siguiente imagen para indicar “tips” útiles para ahorrar algunos pasos y mejorar la utilización del sistema. 

## ICONOS DEL SISTEMA EXPERTO

Existen 8 iconos cuyo significado se mantiene a lo largo del sistema, y que pueden ayudar al usuario a reconocer más rápido las funciones de la aplicación.



Icono **pacientes**: Se encuentra en todas aquellas funciones que tengan relación con la administración de la información de los pacientes. Ejemplo: Agregar, modificar o eliminar pacientes.



Icono **cuadro clínico**. Se encuentra en todas aquellas funciones que tienen relación con información de cuadros clínicos



Icono **diagnóstico diferencial**. Identifica las funciones que involucran el diagnóstico diferencial.



Icono **exámenes generales**. Se encuentra en las funciones que hacen referencia a información de los exámenes clínicos generales



Icono **exámenes específicos**. Se encuentra en las funciones que hacen referencia a información de los exámenes clínicos específicos.



Icono **diagnóstico**. Indica que la hipótesis diagnóstica a la que está asociada el icono se encuentra confirmada.



Icono **hipótesis diagnóstica**. Indica que la hipótesis diagnóstica a la que está asociada el icono, no se encuentra confirmada.



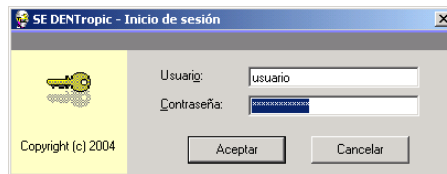
Icono **seguridad**. Indica funciones de acceso y seguridad del sistema.

## INICIANDO SEDENTropic

Al abrir la aplicación, el primer paso es validar el usuario y la contraseña, para activar las opciones permitidas según el tipo de acceso.

PARA INICIAR SESION DE PRUEBA INTRODUCIR:

USUARIO: usuario  
CONTRASEÑA: clave de acceso



Presione el botón **aceptar** para ingresar al entorno de trabajo de SEDENTropic.



El entorno de trabajo ofrece la barra de menú y la barra de herramientas que contiene accesos directos a las opciones principales. Estas son:

- Agregar registro de paciente.
- Diagnóstico diferencial.
- Confirmación de hipótesis diagnósticas por exámenes generales.
- Confirmación de hipótesis diagnósticas por exámenes específicos.
- Buscar cuadro clínico del paciente.
- Ayuda.



## BARRA DE MENU



La barra de menú tiene 5 funciones principales del sistema.

- Registro de paciente.
- Diagnóstico.
- Consulta.
- Mantenimiento.
- Ayuda.

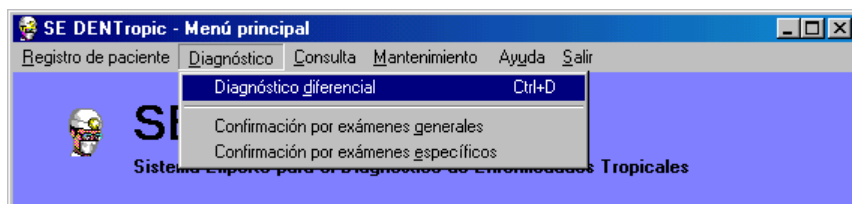
### *Registro de paciente*



Presenta un submenú de tareas que le permiten administrar la información de pacientes, de una manera sencilla.

- **Agregar paciente.** Permite introducir información del paciente, esta es utilizada por el sistema durante el proceso de anamnesis y es almacenada en una base de datos para su uso posterior.
- **Modificar registro.** Una vez agregado el paciente, permite modificar y actualizar la información de los registros.
- **Eliminar registro.** Permite eliminar de la base de datos la información del paciente. Al eliminar el registro elimina los datos de diagnóstico, cuadro clínico y exámenes asociados al paciente.

### *Diagnóstico*



Contiene opciones que permiten obtener un diagnóstico de la enfermedad que padece un paciente.

- **Diagnóstico diferencial.** Esta opción le permite generar una hipótesis diagnóstica a través del diagnóstico diferencial de un paciente. También puede realizar un diagnóstico diferencial sin utilizar datos relacionados a un paciente específico, para efectos de prueba o aprendizaje.
- **Confirmación por exámenes generales.** Una vez que se ha determinado una hipótesis diagnóstica y se han señalado los exámenes clínicos que el paciente debe realizarse, el sistema recupera la información y permite introducir los valores resultado de exámenes clínicos generales para confirmarla o descartarla. Si el resultado no confirma ninguna de las hipótesis formuladas, recomienda los exámenes específicos adecuados.
- **Confirmación por exámenes específicos.** Una vez que se ha determinado una hipótesis diagnóstica, el sistema recupera la información de los exámenes específicos indicados al paciente, y permite introducir los resultados para confirmarla.

### Consulta



Contiene las opciones de consulta de los registros del sistema.

- **Cuadro clínico.** Permite consultar la información del registro del paciente, y el estado actual del proceso de diagnóstico; es decir información sobre claves diagnósticas, exámenes clínicos e hipótesis diagnósticas.

### Mantenimiento



Le permite administrar usuarios y el tipo de acceso que tendrán sobre el sistema. SEDENTropic diferencia dos tipos de usuario:

- **Médico del sistema.** Este usuario tiene acceso a las opciones de agregar, modificar y eliminar registros de pacientes; diagnóstico diferencial, confirmación de exámenes clínicos generales y específicos; consulta de cuadros clínicos y registro de usuarios.
- **Usuario.** Este usuario tiene acceso a las opciones de agregar registros de pacientes, diagnóstico diferencial (con pruebas sin datos relacionados a un paciente específico) y consulta de cuadros clínicos.

*Opciones del menú:*

- **Agregar usuario.** Registra el nombre que el usuario utilizará para iniciar la sesión, y el acceso a las funcionalidades disponibles configurando el tipo de usuario.
- **Modificar usuario.** Permite hacer cambios en el nombre, contraseña y tipo de usuario.
- **Eliminar usuario.** Elimina el acceso del usuario al sistema.

**Ayuda.**



El contenido que proporciona la ayuda del sistema comprende dos aspectos:

- **Enfermedades tropicales.** Contiene información de referencia sobre las enfermedades tropicales que el sistema tiene la capacidad de diagnosticar.
- **Manual del usuario.** Contiene una guía para la utilización del sistema.




Al presionar la tecla **F1** activa la ayuda contextual, esta reconoce la funcionalidad en la que el usuario está trabajando y muestra el contenido relacionado.

## UTILIZANDO SEDENTropic

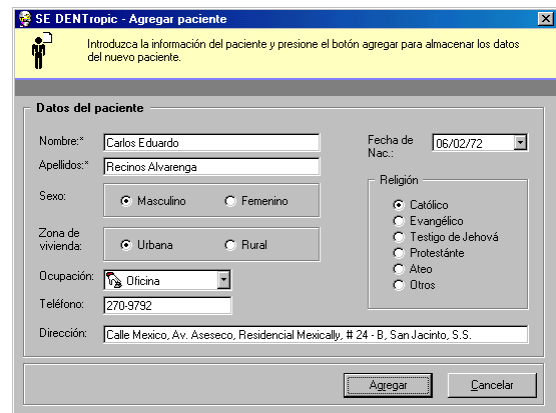
### 1. Registro de pacientes

#### Agregar paciente

1. Seleccione en el menú **Registro de paciente** la opción **Agregar paciente**. Puede presionar las teclas **Ctrl + A**. También puede hacer clic en el botón .

2. Introduzca los datos solicitados en el formulario. La información que es requerida contiene un asterisco(\*). Por ejemplo el nombre del paciente.

3. Presione el botón **Aceptar**. Si los datos se agregaron correctamente aparecerá el siguiente mensaje.



SE DENTropic - Agregar paciente

Introduzca la información del paciente y presione el botón agregar para almacenar los datos del nuevo paciente.

**Datos del paciente**

Nombre:\* Carlos Eduardo Fecha de Nac.: 06/02/72

Apellidos:\* Recinos Alvarenga

Sexo:  Masculino  Femenino

Zona de vivienda:  Urbana  Rural

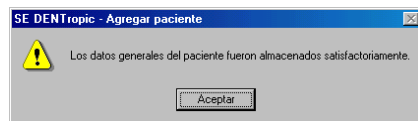
Ocupación: Oficina

Teléfono: 270-9792

Dirección: Calle Mexico, Av. Asesecos, Residencial Mexically, # 24 - B. San Jacinto, S.S.

Religión:  Católico  Evangélico  Testigo de Jehová  Protestante  Ateo  Otros

Agregar Cancelar



SE DENTropic - Agregar paciente

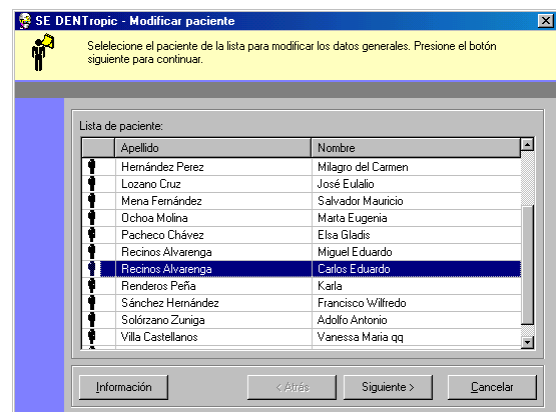
Los datos generales del paciente fueron almacenados satisfactoriamente.

Aceptar

#### Modificar paciente

1. Seleccione en el menú **Registro de paciente** la opción **Modificar paciente**.

2. La pantalla muestra una lista de todos los pacientes registrados en el sistema. Seleccione el paciente que desea modificar y presione **Siguiente**. Si desea ver la información de registro del paciente antes de activar la opción modificar presione el botón **Información**.



SE DENTropic - Modificar paciente

Seleccione el paciente de la lista para modificar los datos generales. Presione el botón siguiente para continuar.

Lista de paciente:

Apellido	Nombre
Hernández Perez	Milagro del Carmen
Lozano Cruz	José Eulalio
Mana Fernández	Salvador Mauricio
Ochoa Molina	Marta Eugenia
Pacheco Chávez	Elsa Gladis
Recinos Alvarenga	Miguel Eduardo
Recinos Alvarenga	Carlos Eduardo
Renderos Peña	Karla
Sánchez Hernández	Francisco Willredo
Solórzano Zuniga	Adolfo Antonio
Villa Castellanos	Vanessa Maria qq

Información < Ants Siguiente > Cancelar

3. Si desea regresar al paso anterior presione el botón **< Atrás**. Presione el botón **Cancelar** si no desea realizar los cambios.

4. Haga los cambios deseados y presione **Modificar** para almacenar la información.

### Eliminar Paciente

1. Seleccione en el menú **Registro de paciente** la opción **Eliminar paciente**. Puede presionar las teclas **ctrl + e**.

2. La pantalla le permite visualizar en forma de directorios los registros correspondientes a cada paciente, Si desea tener una vista previa de los datos generales del paciente presione el botón **Información**.

3. Seleccione el paciente, y presione el botón **eliminar**. A continuación se muestra un mensaje de confirmación.

4. Presione **Sí** para eliminar el registro.



Hay que tener en cuenta que al eliminar el registro del paciente elimina todos los datos relacionados como diagnósticos y cuadros clínicos.


## 2. Diagnóstico de pacientes

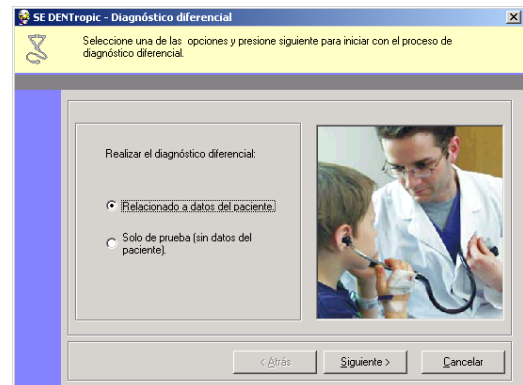
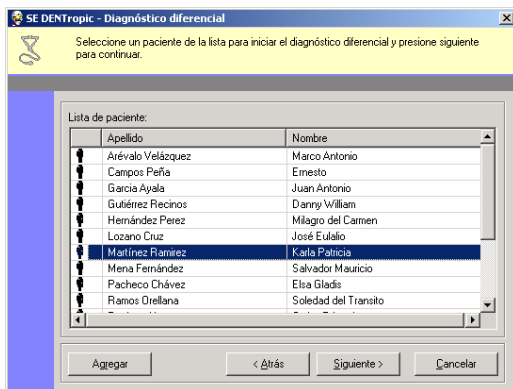
### *Diagnóstico diferencial*

Existen dos formas de realizar un diagnóstico diferencial

- Relacionado a datos del paciente
- Casos de prueba

*Relacionado a datos del paciente:*

1. Seleccione del menú **diagnóstico** la opción **diagnóstico diferencial**, o presione **Ctrl+D**, o haga click sobre el icono  en el menú de herramientas.
2. Seleccione la opción **relacionado a datos del paciente**, para iniciar el diagnóstico de un paciente, y presione el botón **siguiente >**.



3. Seleccione al paciente de la lista que se muestra en la pantalla y presione el botón **Siguiente>**. Si el paciente no está en el listado, puede registrar los datos con el botón **Agregar**.

4. Antes de iniciar las preguntas propias del diagnóstico diferencial, el sistema solicita desarrollar un examen físico inicial de los signos vitales del paciente que consta de los siguientes pasos:

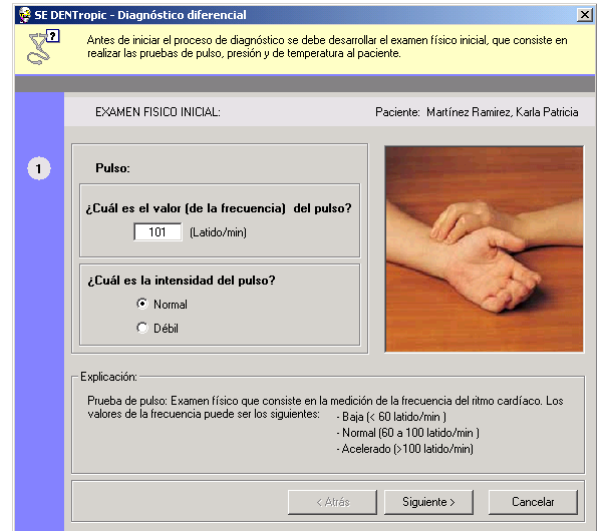


Al hacer **clik** sobre el nombre de la columna (**Apellido**, **Nombre**), puede ordenar los datos alfabéticamente. Esto facilita la búsqueda del paciente.

a. Determinar la frecuencia e intensidad del pulso.

La frecuencia a introducir debe ser un valor en el rango de 30 a 160 latidos por minuto; de lo contrario la aplicación despliega un mensaje de error.

Seleccione la intensidad y presione el botón **Siguiente >**.



b. Determinar el valor de la presión.

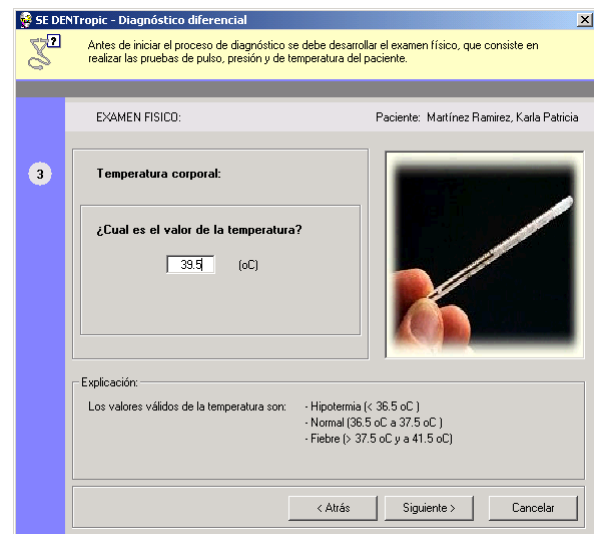
La pantalla presenta información en la parte inferior de la pantalla, donde se explican los rangos de valores de presión válidos, esto como parte del soporte al usuario.

c. Introducir el valor de la temperatura.

Presione el botón **Siguiente >**.

Si el paciente tiene fiebre mayor a 39°C, el sistema solicita que se realice la prueba de lazo, de lo contrario se inicia el proceso de diagnóstico diferencial.

La pantalla se muestra cuando se solicita la prueba de lazo. Seleccione la opción del resultado de la prueba y presione **Siguiente >**.



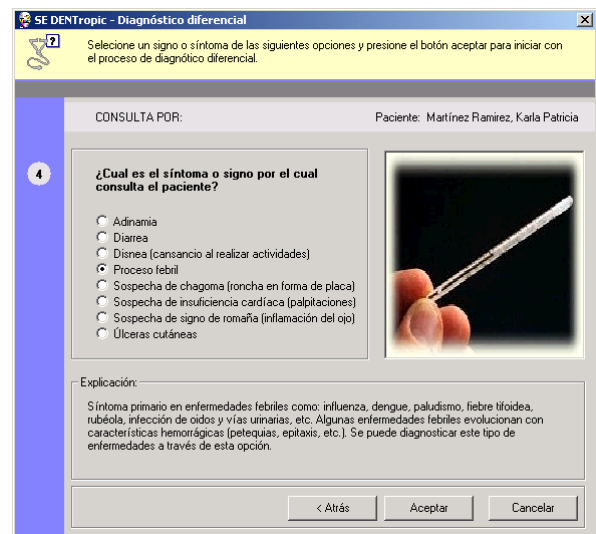


Si desea verificar que los valores introducidos sean correctos presione el botón **< Atrás**, para desplazarse por las pantallas previas.

Después de obtener los signos vitales, inicia propiamente el diagnóstico diferencial. La pantalla siguiente presenta una lista de signos y síntomas relacionados a las enfermedades tropicales que son del dominio del sistema, y por los cuales puede llegar el paciente a consulta:

Una vez seleccionada la opción del menú, presione el botón **Aceptar**.

El proceso de preguntas que se desarrolla a continuación depende del signo o síntoma primario seleccionado en este paso.



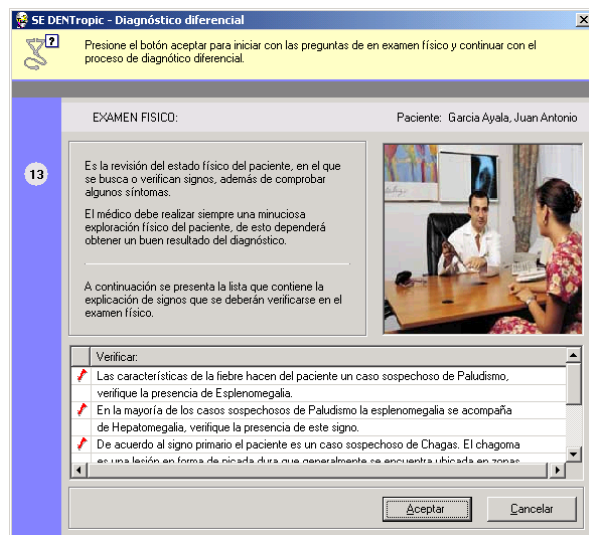
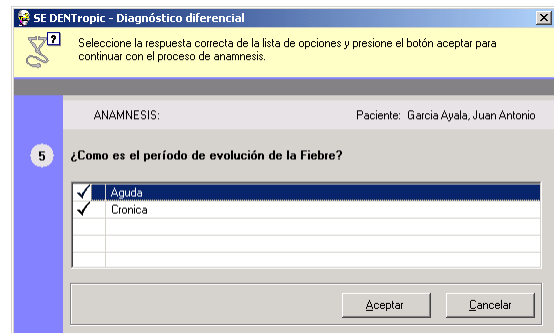
Se recomienda estar seguro que los datos introducidos hasta el momento sean correctos antes de pasar al diagnóstico diferencial; pues una vez que da inicio ya no tiene la opción de regresar.



Durante el diagnóstico, usted puede encontrarse con las siguientes pantallas

### Selección:

En esta pantalla debe elegir una opción de la lista, y presionar el botón **Aceptar**, para avanzar al siguiente paso.

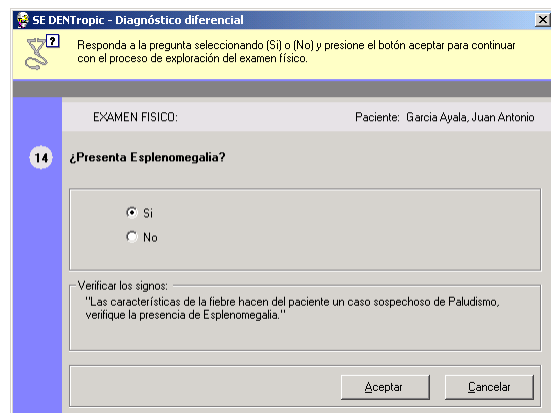


### Explicación:

Esta pantalla se presenta como un paso previo al examen físico. Contiene una lista con una explicación de los datos que debe revisar en el paciente, pues estos serán solicitados mas adelante.

### Confirmación:

En esta pantalla usted deberá confirmar si el signo o síntoma solicitado se encuentra presente, y presionar el botón **Aceptar** para continuar con el siguiente paso.

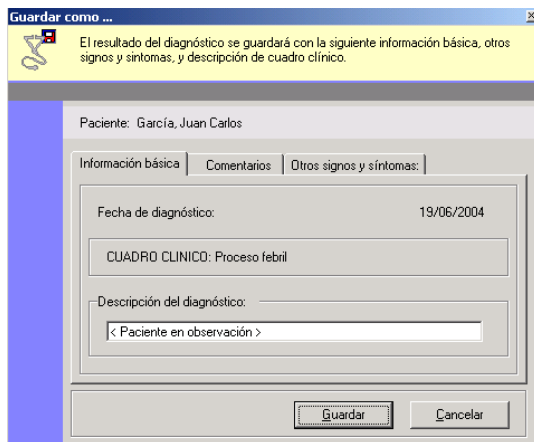


5. Una vez que haya terminado las preguntas correspondientes al diagnóstico diferencial, se presenta el resultado al que ha llegado el sistema.

Las hipótesis diagnósticas se muestran en la parte izquierda, estas no están ordenadas bajo ninguna prioridad.

Los exámenes generales y/o específicos que servirán para confirmar las hipótesis se encuentran listados en la parte superior derecha.

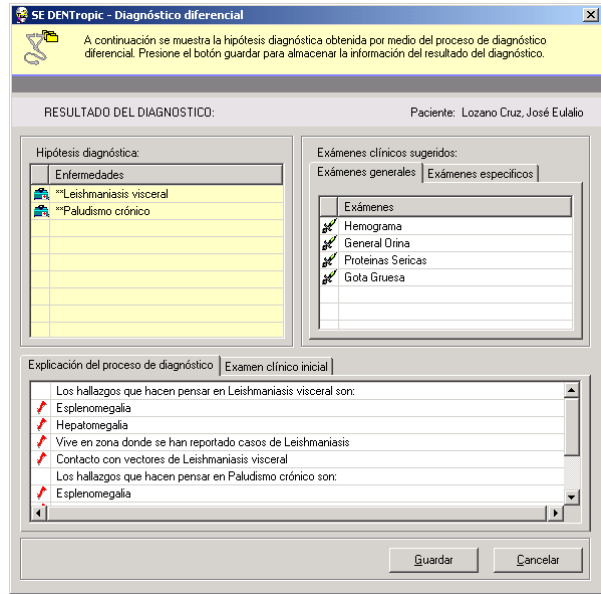
En la parte inferior se encuentran dos secciones con información sobre la explicación de cómo se ha llegado al diagnóstico y un detalle de las claves diagnósticas identificadas durante el proceso.



### Casos de prueba

Los casos de prueba sirven para realizar diagnósticos sin necesidad de asignarlo a un paciente específico. Por la razón anterior, no ofrece la opción de guardar el resultado del diagnóstico.

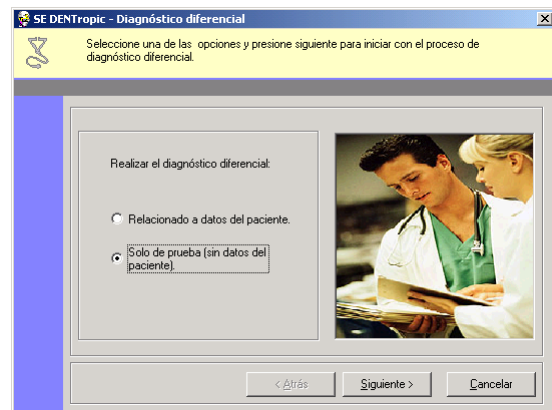
1. Seleccione la opción **Solo de prueba**, y presione el botón **Siguiente >**.
2. Los pasos siguientes son similares los descritos para la opción **Relacionado a datos de paciente**.



Presione el botón **Guardar** para almacenar el resultado del diagnóstico.

6. En la siguiente pantalla introduzca una breve descripción del diagnóstico, esto facilita su identificación al momento de recuperar la información.

Presione el botón **Guardar**.



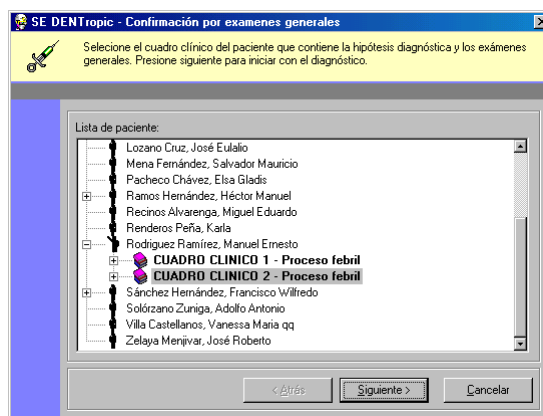
## Confirmar diagnóstico por exámenes clínicos generales

Después de realizar una hipótesis diagnóstica es necesario confirmarla mediante exámenes clínicos generales o específicos.

En esta sección se detallan los pasos que deberá seguir para confirmar un diagnóstico mediante el resultado de los exámenes clínicos generales.

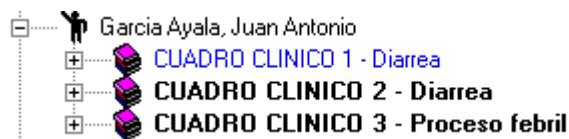
1. Seleccione en el menú **Diagnóstico** la opción **Confirmación por exámenes generales**.

También puede acceder haciendo **click** sobre  en la barra de herramientas.



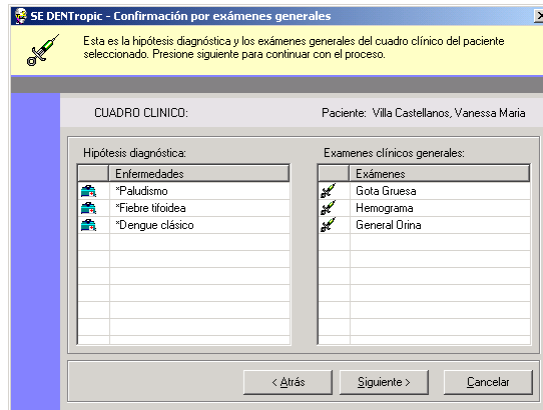
La pantalla muestra un listado de los pacientes registrados en la aplicación en forma de árbol; similar a los directorios de Microsoft Windows ®.

2. Dentro de cada registro de paciente se encuentran los cuadros clínicos que se le han asociado. Haga **doble click** sobre el cuadro clínico para expandirlo y ver una breve descripción de su contenido; que comprende diagnóstico final (si a caso ya esta determinado), nota sobre el paciente, diagnóstico diferencial y si existen exámenes clínicos generales y/o específicos y el estado de cada ítem, como se muestra en la siguiente figura.

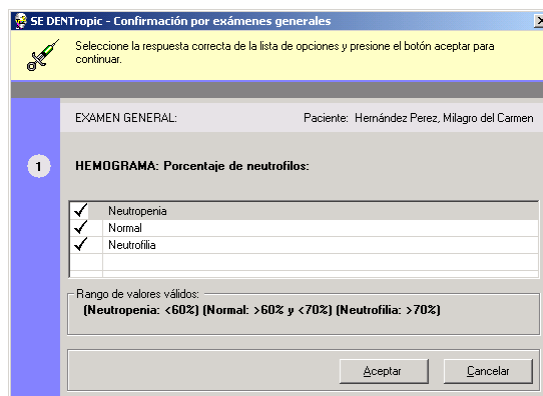


3. Seleccione del listado, el paciente al que quiere confirmar los exámenes.
4. Expanda el contenido del cuadro clínico si desea ver una breve descripción de su estado. Presione el botón **Siguiente >**.

5. Se presenta las hipótesis diagnósticas asociadas al cuadro del paciente y los exámenes clínicos que se le ha pedido realizar.



6. Presione el botón **Siguiente >** para introducir los datos de los exámenes, **< Atrás** si desea regresar al paso anterior. Por ejemplo, si dentro de los exámenes generales se encuentra el Hemograma, se mostrará la siguiente pantalla:



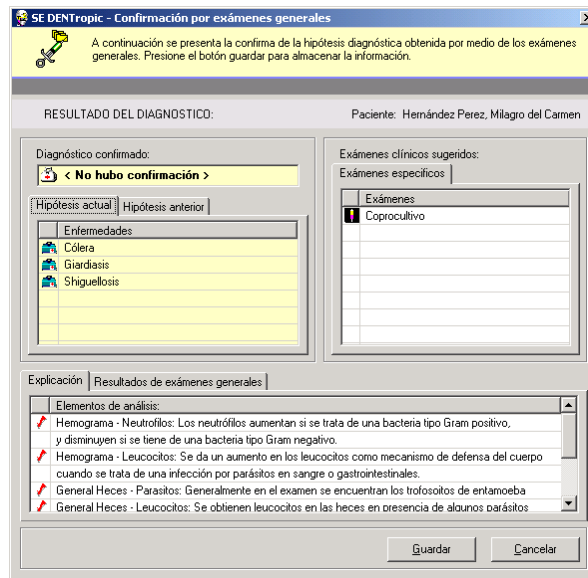
Para el caso, seleccione la categoría que representa el porcentaje de hematocritos que se obtuvieron en el examen, y presione **Aceptar**.



Para facilitar la identificación del estado del cuadro clínico del paciente SEDENTropic utiliza la siguiente convención:

- Se presentan con color azul los cuadros clínicos en los cuales ya se tiene un diagnóstico; por lo que no estarán disponibles.
- Se presentan en color normal los cuadros clínicos a los que ya se han registrado los resultados de los exámenes generales, por lo que no están disponibles.
- Se presentan en negrita los cuadros clínicos a los que no se ha introducido los resultados de los exámenes generales.

En general las pantallas para el registro de resultado de los exámenes clínicos generales son de *selección* y el proceso será el mismo que se explicó anteriormente.



7. Se presenta la información del proceso de diagnóstico y confirmación de exámenes clínicos. El sistema brinda explicación del proceso y los resultados obtenidos.

Si no se puede confirmar el diagnóstico mediante los exámenes clínicos generales, el sistema indicará exámenes específicos que deberán practicarse.


8. Presione **Guardar** para almacenar la información del cuadro clínico.

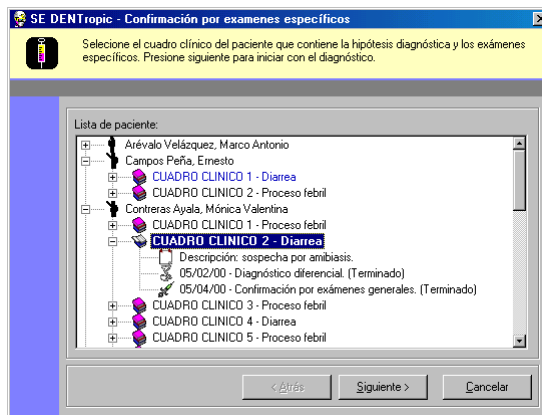
## Confirmar diagnóstico por exámenes específicos

En el caso de que la hipótesis no haya sido confirmada por los exámenes clínicos generales, es necesario confirmarla por los exámenes clínicos específicos indicados al terminar el proceso anterior.

En esta sección se detallan los pasos que deberá seguir para confirmar un diagnóstico mediante el resultado de los exámenes específicos. El proceso es similar al de confirmación por exámenes generales.

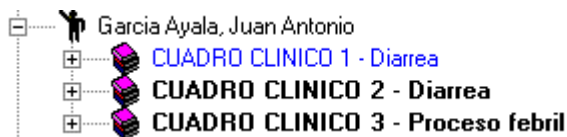
1. Seleccione en el menú **Diagnóstico** la opción **Confirmación por exámenes específicos**.

También puede acceder haciendo **click** sobre el botón  en la barra de herramientas.



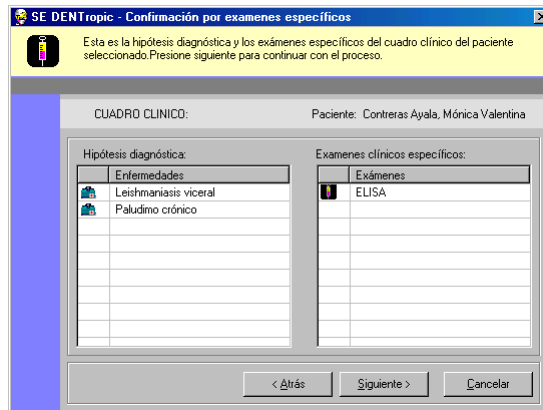
La pantalla muestra un listado de los pacientes registrados en la aplicación en forma de árbol; similar a los directorios de Microsoft Windows®.

2. Dentro de cada registro de paciente se encuentran los cuadros clínicos que se le han asociado. Haga **double click** sobre el cuadro clínico para expandirlo y ver una breve descripción de su contenido; que comprende diagnóstico final si ya estuviese identificado (o diferencial en su defecto), nota sobre el paciente, diagnóstico diferencial y si existen exámenes clínicos generales y/o específicos y el estado de cada item, como se muestra en la siguiente figura.



En este caso el paciente ya posee un diagnóstico confirmado, pues ya ha terminado los exámenes generales y no contiene exámenes específicos pendiente de confirmación.

3. Seleccione del listado al paciente al que quiere confirmar los exámenes.
4. Expanda el contenido del cuadro clínico si desea ver una breve descripción de su estado. Presione el botón **Siguiente >**.
5. Se presenta las hipótesis diagnósticas asociadas al cuadro del paciente y los exámenes específicos que se le ha pedido realizar.



6. Presione el botón **Siguiente >** para introducir los datos de los exámenes, **< Atrás** si desea regresar al paso anterior.
7. En general las pantallas para el registro de resultado de los exámenes específicos son de *selección* o *confirmación*, y el proceso será similar al de exámenes generales.
8. Se presenta la información del proceso de diagnóstico y confirmación de exámenes clínicos. El sistema brinda explicación del proceso y los resultados obtenidos.

Si no se puede confirmar el diagnóstico mediante los exámenes clínicos generales, el sistema indicará exámenes específicos que deberán practicarse.

9. Presione **Guardar** para almacenar la información del cuadro clínico.




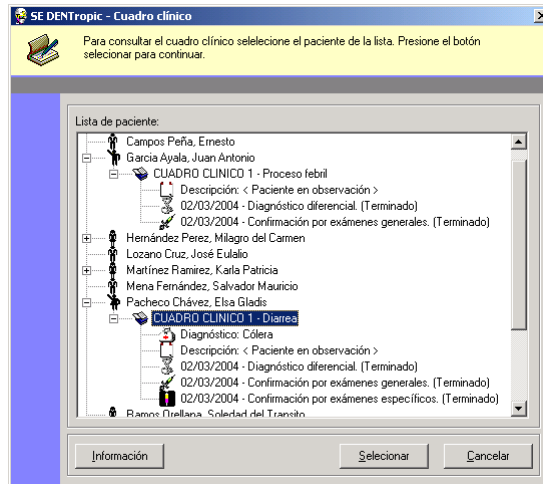
Para facilitar la identificación del estado del cuadro clínico del paciente SEDENTropic utiliza la siguiente convención:

- Se presentan con color azul los cuadros clínicos en los cuales ya se tiene un diagnóstico; por lo que no estarán disponibles.
- Se presentan en color normal los cuadros clínicos que están pendientes de registrar resultados de los exámenes generales, por lo que no están disponibles.
- Se presentan en negrita los cuadros clínicos a los que no se ha introducido los resultados de los exámenes específicos.

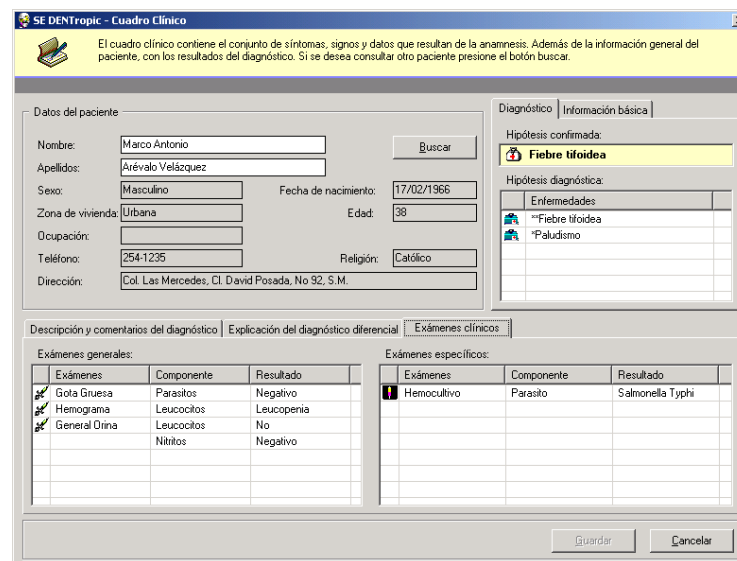
### 3. Consultas

Consultar cuadro clínico del paciente.

1. Seleccione en el menú **Consulta** la opción **Cuadro clínico**. Puede acceder al formulario con las teclas **ctrl+u**, o haciendo **click** sobre el botón  en la barra herramientas.



2. Seleccione al paciente de la lista y haga **doble click** para expandir su contenido. Si desea una vista rápida de los datos generales del paciente puede hacer **click** sobre el botón **Información**.
3. Seleccione el cuadro clínico que desea consultar y presione el botón **Seleccionar**. Se presentará la información del cuadro clínico del paciente.

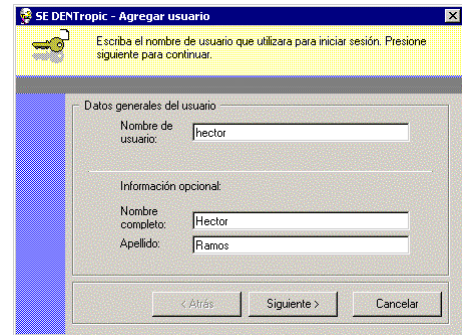




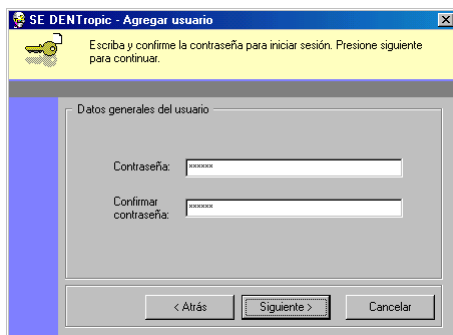
## 4. Mantenimiento

### Agregar usuario

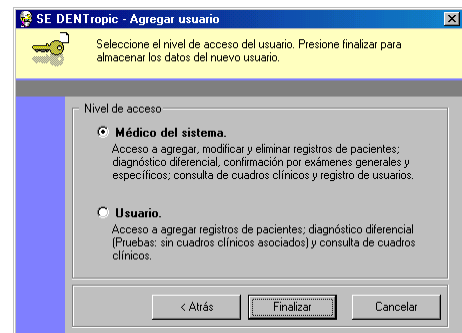
1. Seleccione del menú **Mantenimiento** la opción **Agregar usuario**.
2. Introduzca el nombre de usuario con el que iniciará la sesión. Luego en la sección **Información opcional** puede escribir el nombre completo. Presione el botón **Siguiente >**.



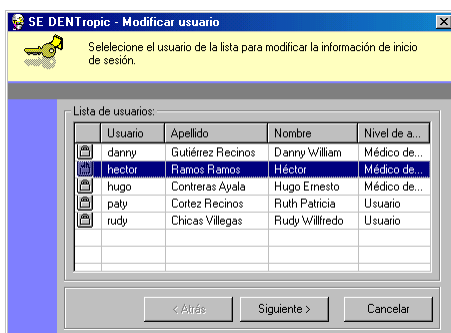
3. Escriba la contraseña para iniciar la sesión. Presione el botón **Siguiente >**.



4. Seleccione el nivel de acceso del usuario.
5. Si desea verificar que la información del usuario es la correcta, puede desplazarse por los formularios anteriores presionando el botón **< Atrás**. Para terminar el proceso de registro, presione **Finalizar**.

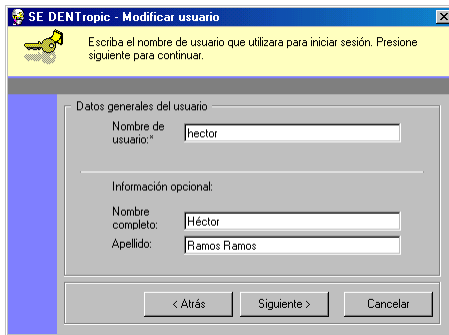


### Modificar usuario



Usuario	Apellido	Nombre	Nivel de a...
danny	Guiérrez Recinos	Danny William	Médico de...
hector	Ramos Ramos	Héctor	Médico de...
hugo	Contreras Ayala	Hugo Ernesto	Médico de...
paty	Cortez Recinos	Ruth Patricia	Usuario
rudy	Chicas Villegas	Rudy Willfredo	Usuario

1. Seleccione del menú **Mantenimiento** la opción **Modificar usuario**.

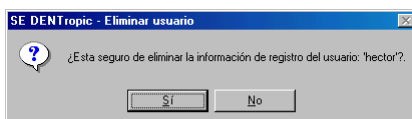
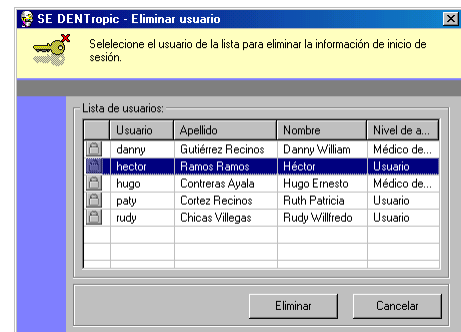


2. Seleccione de la lista el usuario que desea modificar y presione **Siguiente >**.

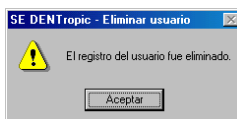
En este punto puede modificar los datos que introdujo al agregar el usuario (refiérase a los pasos para agregar usuarios).

### Eliminar usuario

1. Seleccione del menú **Mantenimiento** la opción **Eliminar usuario**.
2. Seleccione de la lista el usuario que desea eliminar.
3. Presione el botón **Eliminar**. Aparecerá el siguiente mensaje de confirmación.



4. Presione **Sí**. Al terminar la operación SEDENTropic informa el resultado.




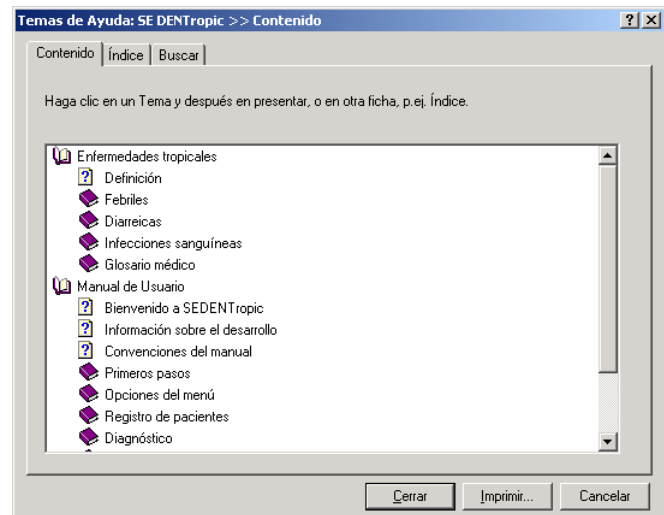
5. Presione **Aceptar**.

## 5. Ayuda

*Consultar la Ayuda.*

Puede obtener ayuda del sistema de varias maneras:

1. Seleccione del menú **Ayuda** la opción **Manual de usuario**.
2. Presione el botón  en la barra de herramientas.
3. Presione la tecla **F1**.



*Acerca del desarrollo.*

SE DENTropic es creado como resultado de una investigación de inteligencia artificial aplicada al campo de los sistemas expertos, por estudiantes de la Universidad de El Salvador.



El motor de inferencia, La base de conocimiento y hechos del SE esta desarrollada con el shell CLIPS versión 6.21 y la interfaz de usuario en Visual Basic 6.0.

Presione **Ayuda** en la barra de menú y seleccione la opción **Acerca de...** para ver la siguiente pantalla con información sobre el desarrollo.