



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

SISTEMA EXPERTO PARA LA INTERPRETACIÓN MAMOGRÁFICA

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE
INGENIERA EN COMPUTACIÓN
PRESENTA
ARELI VÁZQUEZ PADILLA DÍAZ

DIRECTORA DE TESIS:
M. EN C. MARÍA DEL CARMEN EDNA MÁRQUEZ MÁRQUEZ



MÉXICO, D. F.

Enero, 2010

Al Dr. Fernando Mainero Ratchelous por las facilidades otorgadas para la elaboración de este trabajo, por su gran visión, por creer en mi trabajo, pero sobre todo por su enorme calidad humana.

A Juan Carlos Martínez Chéquer por su disposición.

Agradezco atentamente la colaboración del grupo de doctores Onco-Mama del IMSS.



SISTEMA EXPERTO PARA LA INTERPRETACIÓN MAMOGRÁFICA

Índice



ÍNDICE

	Pág.
Índice	1
Índice de figuras	4
Índice de tablas.....	5
Constancias	6
Introducción	8
Convenciones	9
Del texto.....	9
De las referencias	9
1 Definición del proyecto	11
1.1 Justificación	11
1.2 Objetivos del proyecto	11
1.2.1 Objetivo general.....	11
1.2.2 Objetivos específicos	12
1.3 Alcance del proyecto.....	12
1.4 Planteamiento del proyecto.....	12
2 Sistemas Expertos.....	15
2.1 Inteligencia Artificial	15
2.1.1 Definición	15
2.1.2 Breve historia	17
2.1.3 Estrategias	19
2.2 Definición de SE	20
2.3 Evolución histórica de los SE	22
2.4 Tipos y clasificaciones	25
2.5 Características de los SE.....	28
2.6 Ventajas de los SE	29
2.7 Áreas de aplicación de los SE	30
2.7.1 Aplicación en el área médica.....	31
2.7.1.1 MYCIN	32
2.7.1.2 Otros Sistemas Expertos	33
2.8 Componentes generales de los SE.....	35
2.8.1 Base de conocimiento	36
2.8.2 Motor de inferencia	36
2.8.2.1 Proceso de inferencia	37
2.8.2.2 Estrategias de control	38
2.8.3 Módulo de explicación	43
2.8.4 Memoria de trabajo	44
2.8.5 Interfaz de usuario	44
2.8.6 Módulo de aprendizaje	45
2.9 Roles involucrados en los SE	47
2.9.1 Equipo de desarrollo de un SE y su interacción	49
2.10 Proceso de desarrollo	50
2.11 Herramientas de desarrollo	52
2.11.1 Lenguajes de propósito general para software de propósito general	54
2.11.2 Lenguajes para IA.....	54
2.11.3 Shells: lenguajes para SE.....	55
2.11.3.1 Shells basados en reglas.....	56



SISTEMA EXPERTO PARA LA INTERPRETACIÓN MAMOGRÁFICA

Índice



2.11.3.2	Shells basados en inducción	56
2.11.4	CLIPS.....	56
2.11.5	JESS	58
3	Ingeniería del conocimiento.....	60
3.1	Introducción.....	60
3.1.1	Definición del conocimiento	61
3.1.2	Fuentes de conocimiento.....	62
3.1.3	Tipos de conocimiento	63
3.2	Adquisición del conocimiento.....	64
3.2.1	Etapas de la Adquisición del conocimiento	64
3.2.2	Métodos de Adquisición del conocimiento	68
3.2.2.1	Manuales	69
3.2.2.2	Semiautomatizados	72
3.2.2.3	Automatizados	74
3.3	Representación del conocimiento	76
3.3.1	Niveles de Representación del conocimiento.....	77
3.3.2	Modelos de Representación del conocimiento.....	78
3.3.2.1	Representación procedural.....	78
3.3.2.2	Representación declarativa	79
3.3.3	Representación formal del conocimiento	80
3.3.3.1	Lógica proposicional	80
3.3.3.2	Lógica de predicados.....	81
3.3.4	Representación no formal del conocimiento	82
3.3.4.1	Sistemas basados en reglas de producción	82
3.3.4.2	Redes semánticas	84
3.3.4.3	Marcos (frames).....	85
3.3.4.4	Guiones (scripts).....	87
3.4	Incertidumbre.....	88
3.4.1	Causas de incertidumbre.....	88
3.4.2	Manejo de la incertidumbre	89
3.4.3	Funciones de combinación para factores de certeza	89
3.4.4	Descripción de factores de certeza	89
4	Cáncer de Mama	92
4.1	Situación actual del Cáncer de Mama en México.....	92
4.2	Procedimiento general para diagnosticar Cáncer de Mama	93
4.2.1	Exámenes selectivos de detección	93
4.2.2	Síntomas.....	94
4.2.3	Diagnóstico	95
4.3	Mamografía de detección y de diagnóstico para Cáncer de Mama	97
4.3.1	Mamografía.....	97
4.3.2	Mamografía de detección	100
4.3.3	Mamografía de diagnóstico	100
4.4	Breast Imaging Reporting and Data System (BIRADS).....	101
4.4.1	Categorías de clasificación.....	102
4.5	Terminología básica.....	103
5	Desarrollo del Sistema Experto	106
5.1	Fase A. Identificación del problema	106
5.1.1	Investigación de problemas	106
5.1.2	Selección de problemáticas candidatas	107
5.1.3	Análisis de la problemática	107
5.1.3.1	Aplicabilidad del dominio	107
5.1.3.2	Disponibilidad experta	108
5.1.3.3	Alcances del problema	109
5.1.4	Selección final de la problemática candidata	110



SISTEMA EXPERTO PARA LA INTERPRETACIÓN MAMOGRAFICA

Índice



5.2	Fase B. Entendimiento del problema	110
5.2.1	Selección del experto humano	111
5.2.2	Adquisición del conocimiento	112
5.2.2.1	Métodos de Adquisición del conocimiento	112
5.2.2.2	Material generado	112
5.2.2.3	Verificación de información	115
5.2.2.4	Validación de información	115
5.2.2.5	Resultados obtenidos en la fase de Adquisición del conocimiento	115
5.3	Fase C. Formalización del problema	116
5.3.1	Representación del conocimiento	116
5.3.2	Herramientas a utilizar para el desarrollo del sistema	116
5.3.3	Diseño del sistema experto	117
5.3.3.1	Definición de las soluciones	117
5.3.3.2	Definición de los datos que hay que suministrar al sistema	118
5.3.3.3	Base de hechos	118
5.3.3.4	Desarrollo de una jerarquía del conocimiento	119
5.3.4	Planeación de la Base de conocimiento	119
5.4	Fase D. Implementación y pruebas	121
5.4.1	Implementación	121
5.4.1.1	Programación de la Base de conocimiento	122
5.4.1.2	Desarrollo de la aplicación Web	124
5.4.1.3	Identificación de módulos de la aplicación Web	131
5.4.1.4	Descripción de general del funcionamiento de la aplicación Web	132
5.4.2	Pruebas	137
5.4.2.1	Prueba para composición mamaria “muy densa”	138
5.4.2.2	Prueba para la existencia de Trastornos arquitecturales	139
5.5	Fase E. Mejora	141
5.6	Productos obtenidos por fase de desarrollo	142
6	Conclusiones	144
7	Glosario	146
8	Bibliografía	147
Anexos	149
Anexo A.	Reporte de horas por actividad realizada	150
Anexo B.	Acta de proyecto	151
Anexo C.	Ejemplo de minuta de una reunión de trabajo	155
Anexo D.	Diagrama para la interpretación mamográfica	158
Anexo E.	Reporte de clasificación	159
Anexo F.	Árbol de decisión	162
Anexo G.	Pantallas de navegación por módulos	163
Anexo H.	Diccionario de datos	170
Anexo I.	Base de conocimiento	175



SISTEMA EXPERTO PARA LA INTERPRETACIÓN MAMOGRÁFICA

Índice de figuras



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Pág.
Figura 1 Partes del proyecto	13
Figura 2 Campos de estudio de la IA	17
Figura 3 Esquematización de la comparación de un Sistema Experto con un sistema clásico	22
Figura 4 Evolución histórica de los SE	25
Figura 5 Componentes generales de un SE	35
Figura 6 Estrategias de control del Motor de inferencia	38
Figura 7 Interacción de los roles en el desarrollo de un SE	49
Figura 8 Fases y roles en el desarrollo de un SE	50
Figura 9 Descripción general de la Ingeniería del conocimiento	60
Figura 10 Proceso de la Ingeniería del conocimiento	61
Figura 11 Tipos de conocimiento representados en la Base de conocimiento	62
Figura 12 Principales fuentes de conocimiento	63
Figura 13 Etapas de la Adquisición del conocimiento	65
Figura 14 Métodos de Adquisición del conocimiento	68
Figura 15 Métodos manuales de Adquisición del conocimiento	69
Figura 16 Métodos semiautomáticos de la Adquisición del conocimiento	73
Figura 17 Métodos automatizados de Adquisición del conocimiento	75
Figura 18 Esquemas de Representación del conocimiento	80
Figura 19 Ejemplo de una red semántica	85
Figura 20 Esquemas para el manejo de la incertidumbre	89
Figura 21 Defunciones en mujeres a causa del Cáncer de Mama en el 2007 INEGI	92
Figura 22 Mortalidad por tumores malignos de Mama y de Cuello de Útero en México 1955-2005	93
Figura 23 Algoritmo de prevención y detección de Cáncer de Mama en mujeres de 40 a 49 años	98
Figura 24 Algoritmo de prevención y detección de Cáncer de Mama en mujeres de 50 a 59 años	99
Figura 25 Red semántica del SE para la interpretación mamográfica	118
Figura 26 Diagrama de flujo del SE para la interpretación mamográfica	119
Figura 27 Ejemplo de la declaración de una regla usando JESS y la propiedad salience	124
Figura 28 Inicialización del Motor de JESS	125
Figura 29 Ejemplo de la manipulación de la Memoria de trabajo desde Java	127
Figura 30 Ejemplo de función printout que contiene código HTML	128
Figura 31 Ejemplo de la integración de JESS y Java	129
Figura 32 Diagrama entidad relación del SE para la interpretación mamográfica	130
Figura 33 Clase ConnectionFactory	131
Figura 34 Bienvenida	132
Figura 35 Ficha de identificación	132
Figura 36 Pregunta sobre la composición mamaria	133
Figura 37 Pregunta sobre la existencia de masas	133
Figura 38 Formulario para la caracterización de Masas	133
Figura 39 Pregunta sobre la existencia de Masas con calcificaciones asociadas	134
Figura 40 Formulario para la caracterización de Masas con calcificaciones asociadas	134
Figura 41 Pregunta sobre la existencia de Calcificaciones	134
Figura 42 Formulario para caracterización de las Calcificaciones	135
Figura 43 Formulario de Trastornos arquitecturales y Datos especiales	135
Figura 44 Clasificación	136
Figura 45 Formulario de Evaluación axilar y Localización de la lesión	136
Figura 46 Reporte final	137



SISTEMA EXPERTO PARA LA INTERPRETACIÓN MAMOGRAFICA

Índice de tablas



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla	Pág.
Tabla 1 Resumen de la evolución de la IA _____	19
Tabla 2 Estrategias de la IA _____	20
Tabla 3 Diferencias entre un Sistema Experto y un sistema clásico _____	21
Tabla 4 Elementos de los SE deterministas y estocásticos _____	26
Tabla 5 Ventajas y desventajas de los SE deterministas y estocásticos _____	26
Tabla 6 Diferencias entre un experto humano y un experto artificial _____	30
Tabla 7 Roles involucrados en el desarrollo de un SE _____	48
Tabla 8 Resumen de la metodología para el desarrollo de un SE _____	50
Tabla 9 Diferencia entre datos, información y conocimiento _____	62
Tabla 10 Descripción de etapas de la Adquisición de conocimiento _____	67
Tabla 11 Clasificación de BIRADS _____	103
Tabla 12 Relación de minutas generadas de las reuniones de trabajo _____	114
Tabla 13 Características del equipo de cómputo para el desarrollo del SE _____	122
Tabla 14 Prueba para composición mamaria "muy densa" _____	139
Tabla 15 Prueba para la existencia de Trastornos arquitecturales _____	141
Tabla 16 Especificación de productos del desarrollo del SE _____	143
Tabla 17 Conteo de horas en el proceso de desarrollo del SE _____	150



SISTEMA EXPERTO PARA LA INTERPRETACIÓN MAMOGRÁFICA

Constancias



CONSTANCIAS

Enero 8 de 2010.

La creación del Sistema Experto para la Interpretación Mamográfica, ha cubierto una necesidad intrínseca que cumple dos objetivos. Primero, una autoevaluación, crítica y profunda que permitió corroborar un conocimiento real y práctico de la imagenología en patología mamaria y segundo, la creación de una aplicación que teniendo como base un orden bien establecido pueda ser utilizada por otros médicos dedicados a la interpretación de mamografías.

En cuanto a la autoevaluación cabe destacar la continua confrontación de la visión propia con la de otros colegas que aún trabajando en la misma institución, tuvimos inicialmente interpretaciones frecuentemente distintas Sin embargo, la clave estuvo en decidir cuál era el lenguaje a utilizar y la secuencia preestablecida en la lectura de mamografía, una vez establecida la norma, los resultados eran mayoritariamente similares.

El proceso fue arduo y siempre nutrido por la aparición de nuevos hallazgos, a veces inesperados, pero siempre muy iluminadores del conocimiento.

Por otro lado para uno mismo, representa un elemento de reafirmación del conocimiento y la generación de la Base de datos constituye una fuente sólida y confiable de información que sirve de plataforma de inicio para análisis posteriores.

El segundo objetivo, fue inspirado por el deseo de evitar interpretaciones incompletas y a veces equivocadas, por los imagenólogos. Aunque no ha sido implementado a nivel institucional, nos sentimos orgullosos de haber creado un elemento visionario, que cuando sea utilizado, servirá como un elemento adicional de interpretación, bienvenido por algunos, ignorado y/o rechazado por otros.

El arte de la medicina requiere de habilidad, parte de la cual es producto del estudio y otra es parte de la experiencia. Ningún sistema sustituirá la labor del médico en el proceso de diagnóstico, pero consideramos que el sistema construido será útil como apoyo y en ocasiones como cofactor que permita identificar alteraciones inicialmente no detectadas

Dr. Fernando Enrique Mainero Ratchelous
Jefe del departamento de Oncología Mamaria
UMAE en Ginecoobstetricia "Luis Castelazo Ayala"



**SISTEMA EXPERTO PARA LA INTERPRETACIÓN
MAMOGRÁFICA**
Constancias



Diciembre 9 de 2009.

Sirva el presente reconocimiento por el esfuerzo realizado por la Pasante de Ingeniería Areli Vázquez Padilla Díaz durante el desarrollo y culminación de su trabajo de tesis denominado “*Sistema experto para la interpretación mamográfica*”. Su participación entusiasta y formal permitió que un área de relevancia actual y que constituye un reto para la salud de las mujeres como es el cáncer de mama, se vea beneficiada mediante la incorporación de un instrumento informático que podría utilizarse como un auxiliar de tipo diagnóstico, debido a que simplifica la interpretación mastográfica como consecuencia de la unificación de los criterios radiológicos de tipo diagnóstico que se contemplaron en su realización, y de la incorporación de las variables clínicas que confluyen en dichas mujeres. El trabajo realizado en conjunción con el Dr. Fernando Enrique Mainero Ratchelous en su calidad de *experto humano* en el área de cáncer de mama, permitieron que tanto las variables radiológicas como las clínicas fueran exploradas en forma detallada, y como consecuencia le otorguen al instrumento diseñado la solidez necesaria para su posterior validación clínica.

Dr. Juan Carlos Martínez Chéquer
Jefe de la División de Investigación en Salud
UMAE en Ginecoobstetricia “Luis Castelazo Ayala”



SISTEMA EXPERTO PARA LA INTERPRETACIÓN MAMOGRAFICA

Introducción



INTRODUCCIÓN

El empleo de los Sistemas Expertos (SE) ha traspasado en pocos años las fronteras de los laboratorios, para tomar un lugar en hospitales, industrias, oficinas y muchos otros sitios y debido a su versatilidad y posibilidad de condensación del conocimiento experto, son muy útiles en diversas áreas. Precisamente una de las primeras manifestaciones exitosas del uso de los SE fue realizada en el campo de las Ciencias Médicas entre 1972 y 1980 con el desarrollo del sistema MYCIN. En el proyecto desarrollado a continuación, se aplican los conocimientos de los SE mediante la utilización de un sistema informático, para establecer el proceso mediante el cual un experto humano en el área específica del Cáncer de Mama es capaz de interpretar una mamografía para emitir recomendaciones sobre el siguiente nivel de atención que debe recibir el paciente.

En la primera parte de este proyecto de tesis, se analiza la situación actual definiendo las razones que originan la necesidad de contar con una herramienta tecnológica que proporcione elementos para la correcta interpretación de mamografías realizadas en las mujeres, se definen los objetivos generales y específicos del proyecto así como la justificación y el alcance del mismo.

En el segundo capítulo se presenta un compendio de información que proporciona de manera clara y estructurada conceptos básicos generados alrededor de los SE logrando con ello establecer el sustento teórico extraído de diversas fuentes y exponer la historia, definición, tipos, características, componentes, ventajas, fases y roles involucrados en el desarrollo, entre otros temas relacionados.

El capítulo tres proporciona información referente a Ingeniería del conocimiento como parte fundamental del proyecto de tesis ya que la labor que conlleva la extracción del conocimiento del experto humano es de gran importancia en el desarrollo de sistemas basados en conocimiento.

El valor del capítulo cuatro se centra en la necesidad de contextualizar al lector en el área del Cáncer de Mama, así como, aportar información sobre los procedimientos actuales para diagnosticar dicho cáncer, el establecimiento de la importancia de la mamografía y la exposición de información sobre el Breast Imaging Reporting and Data System (BIRADS) alrededor del cual gira el desarrollo del proyecto.

El capítulo número cinco de este trabajo, contiene el desarrollo del proyecto desglosado en fases, se describe el análisis para la identificación del problema, el proceso de la Ingeniería del conocimiento, el diseño, los productos del desarrollo, las pruebas y la verificación con los usuarios finales. En la lectura del capítulo se hará referencia hacia los anexos ubicados en las páginas finales del presente trabajo.

Finalmente se encuentran las conclusiones, la bibliografía con las fuentes citadas a lo largo del texto y los anexos que contienen diversos documentos generados en el proceso de desarrollo del SE.



SISTEMA EXPERTO PARA LA INTERPRETACIÓN MAMOGRAFICA *Convenciones*



CONVENCIONES

Del texto

Las definiciones de los términos, se encuentran escritas con *cursivas*.

Los términos cuya relevancia en el texto es mayor que los demás, se encuentran distinguidos con **negritas**.

Existen términos en los párrafos que son incluidos en la sección 7, relativa al Glosario, en ese caso los términos aparecen subrayados.

De las referencias

Por cada figura incluida, se encuentra una referencia al pie de página, el listado de dichas figuras se encuentra en la sección del índice, con el nombre de "Índice de figuras" y a continuación de éste, se encuentra el "Índice de tablas".

En el texto existen referencias bibliográficas, cuya especificación está desglosada al final del documento escrito, en la sección 8 referente a la Bibliografía, la cual contiene el material de consulta presentado de acuerdo a la norma ISO 690 e ISO 690-2, la primera normaliza la presentación, identificación y descripción bibliográfica, para la redacción de citas bibliográficas documentos en soporte papel y, la segunda especifica, los datos y su orden en las referencias bibliográficas a documentos en formato electrónico.

Dentro del texto se encuentra señalado entre paréntesis, la referencia a las figuras (representaciones gráficas de lo que se está describiendo), la referencia a las tablas o bien la referencia a otras secciones que forman parte del presente trabajo, por ejemplo: (Ver Figura X), (Ver Tabla X), (Ver Anexo X) o (Consultar sección X.X)

Capítulo 1 Definición del proyecto

- 1.1 Justificación
- 1.2 Objetivos del proyecto
- 1.3 Alcance del proyecto
- 1.4 Planteamiento del proyecto



SISTEMA EXPERTO PARA LA INTERPRETACIÓN MAMOGRÁFICA

Definición del proyecto



1 DEFINICIÓN DEL PROYECTO

1.1 Justificación

El **Cáncer de Mama** es el tumor maligno más frecuente en el mundo por lo que se considera un problema de salud pública internacional. Durante los últimos años se ha observado un incremento en su frecuencia, sobre todo en países en vías de desarrollo como México. En donde actualmente ocupa el primer lugar como causa de mortalidad en las mujeres. [Viniestra Osorio, 2008]

Según datos de la Organización Mundial de la Salud (OMS), el Cáncer de Mama se convertirá en la principal causa de mortalidad en 2010, como se indica en un informe de la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC) de la OMS. En apenas dos años esta enfermedad, cada vez más extendida en los países desarrollados, dejará atrás a las enfermedades cardiacas que actualmente figuran como primera causa de mortalidad mundial. Alrededor del mundo se llevan a cabo sucesivas campañas para concientizar a las mujeres en edad de riesgo de la importancia de obtener un diagnóstico precoz.

Las diferencias en el primer nivel de atención médica de este problema y sus consecuencias e impacto en la salud, reflejadas en las estadísticas de años de vida perdidos por muerte prematura y pérdida de la calidad de vida por discapacidad, justifica llevar a cabo acciones sistematizadas para el diagnóstico y la referencia oportuna, [Viniestra Osorio, 2008] como el desarrollo de un sistema coadyuvante en la detección oportuna y la disminución de la mortalidad del Cáncer de Mama aplicando los conocimientos que aporta la Ingeniería de Sistemas Basados en Conocimiento, para contribuir en la solución de un problema real desarrollando un Sistema Experto (SE) que cuente con la colaboración de expertos humanos y el sustento teórico adquirido a través de libros e investigaciones recientes, tales como el estudio de nombre "Errores frecuentes en la indicación, interpretación y manejo del resultado mamográfico" realizado en marzo de 2007 por el Dr. Fernando Mainero Ratchelous, quien actualmente se desempeña como jefe de Servicio de Oncología mamaria del IMSS, el cual consistió en la revisión individual de 1314 mamografías realizadas en 64 centros de la Ciudad de México y el Estado de México, interpretadas por 81 radiólogos distintos, en dicho estudio se detectaron errores en la interpretación y el reporte del estudio, lo cual tiene consecuencias directas en el diagnóstico y en la solicitud de estudios innecesarios a la paciente, adicionalmente se descubrió que el radiólogo experto en Cáncer de Mama es aún un especialista infrecuente.

De los resultados obtenidos en el estudio mencionado anteriormente, se ha detectado la necesidad de contar con un sistema que instruya al usuario sobre aspectos que son necesarios considerar para la correcta interpretación de una mamografía, siendo ésta a la fecha, el más popular de los estudios entre la población y los servicios médicos. Es importante mencionar que las mamografías forman una parte fundamental de los programas de detección oportuna y prevención primaria, dicho estudio cobra mayor importancia cuando es interpretado ya que es determinante para que los pacientes reciban el siguiente nivel de atención.

1.2 Objetivos del proyecto

1.2.1 Objetivo general

- Diseñar e implementar una herramienta tecnológica que represente la experiencia y el conocimiento de un experto humano en el área del Cáncer de Mama, proporcionando al mismo tiempo, un instrumento de apoyo en la prevención, detección oportuna y estudios subsecuentes para dicho cáncer, por medio de la aplicación práctica de un Sistema Experto (SE) para la interpretación mamográfica.



SISTEMA EXPERTO PARA LA INTERPRETACIÓN MAMOGRÁFICA

Definición del proyecto



1.2.2 Objetivos específicos

- Adquirir conocimientos del experto humano (especialista en oncología mamaria) mediante cuestionarios y entrevistas, lo cual permitirá al Ingeniero de conocimiento estructurar las reglas de producción que conformarán la Base de conocimiento del sistema y de esta manera lograr beneficios como: el mejoramiento de la calidad del conocimiento del experto humano, hacer más accesible el conocimiento humano y conseguir la supervivencia del mismo.
- Instruir y guiar al usuario del sistema (radiólogo general) en la interpretación mamográfica, así como la emisión de recomendaciones sobre estudios posteriores o siguiente nivel de atención que se proporcionará a los pacientes.
- Utilizar herramientas de programación especializadas para lograr la óptima interacción del usuario con el sistema.
- Realizar la documentación correspondiente del sistema para la correcta utilización por parte de los usuarios interesados.

1.3 Alcance del proyecto

El proyecto incluye:

- El desarrollo de un SE de interpretación como una herramienta capaz de guiar la explicación y clasificación de una mamografía con datos proporcionados por un radiólogo (o usuario final) y apegándose al estándar internacional BIRADS emitirá conclusiones y recomendaciones sobre estudios y acciones posteriores.
- Verificación de la información y validación del producto final, a cargo del experto humano.

Precondiciones:

- Acceso a información solicitada por parte del Ingeniero de conocimiento.
- Colaboración de un experto humano en el área de Cáncer de Mama.
- Disponibilidad del experto humano de 1 hora cada 2 semanas durante el desarrollo del sistema.

Exclusiones:

- El sistema no realizará carga o análisis de imágenes.

1.4 Planteamiento del proyecto

Para que la mamografía sea un estudio confiable se requiere de un buen estudio radiológico y una óptima interpretación en bases anuales. La interpretación de una mamografía consiste en tomar en cuenta todos los hallazgos radiológicos y proveer una conclusión de la conjunción de dichos hallazgos, lo cual requiere de la experiencia en el área con la que cuente el radiólogo y del seguimiento dado a los procedimientos establecidos, como la adopción de estándares para generar reportes. Por estas razones y de acuerdo a las necesidades identificadas en la interpretación mamográfica, el proyecto contemplará las siguientes partes para dar solución al problema: (Ver Figura 1)



SISTEMA EXPERTO PARA LA INTERPRETACIÓN MAMOGRAFICA

Definición del proyecto



- **Identificación de la paciente.** Registro de datos generales de la paciente para constituir su caracterización, entre los que se encuentran: nombre, edad, composición mamaria, el motivo de la evaluación, si tiene estudios o cirugías previas.
- **Clasificación de los hallazgos.** Es en donde se registran hallazgos referentes a las Masas, Masas con calcificaciones asociadas, Calcificaciones y Trastornos arquitecturales, con el propósito de clasificarlos en las categorías establecidas por el modelo estándar de clasificación internacional BIRADS.
- **Conclusiones y emisión de recomendaciones.** En esta parte se presentará la conclusión final de la evaluación y se emitirán recomendaciones guiadas por el experto humano, sobre acciones futuras para la paciente.
- **Evaluación axilar.** De acuerdo a observaciones hechas por el experto humano, dicha evaluación no siempre es realizada por el radiólogo, sin embargo es muy importante que se realice por la significancia de los hallazgos detectados en esta parte.
- **Localización de la lesión.** Se incluye como parte del reporte final la localización de la lesión, los datos registrados servirán mayormente en el caso de que sea necesario efectuar una cirugía.

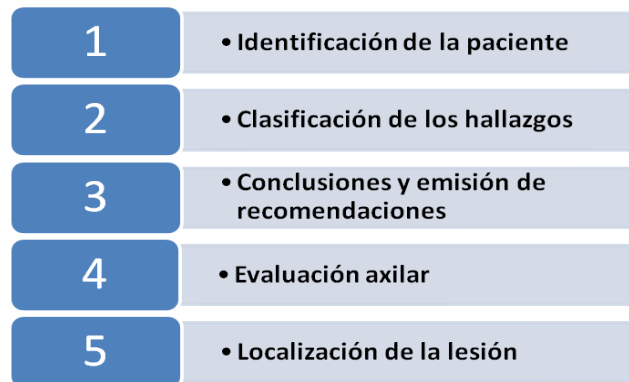


Figura 1 Partes del proyecto

Capítulo 2 Sistemas Expertos

- 2.1 Inteligencia Artificial
- 2.2 Definición de SE
- 2.3 Evolución histórica de los SE
- 2.4 Tipos y clasificaciones
- 2.5 Características de los SE
- 2.6 Ventajas de los SE
- 2.7 Áreas de aplicación de los SE
- 2.8 Componentes generales de los SE
- 2.9 Roles involucrados en los SE
- 2.10 Proceso de desarrollo
- 2.11 Herramientas de desarrollo



2 SISTEMAS EXPERTOS

2.1 Inteligencia Artificial

La Inteligencia Artificial (IA) desde sus inicios se ha dedicado a la imitación de los procesos mentales que involucran la inteligencia humana como la habilidad de percibir y adaptarse al entorno, tomar decisiones o realizar acciones de control, teniendo la capacidad de crecer y evolucionar.

La ciencia y la tecnología se han enfrentado a retos como el descubrimiento y la implementación de mejores y más sofisticadas soluciones en el ámbito computacional, debido a que su desarrollo y evolución están estrechamente ligados al avance tecnológico. En respuesta a la creciente demanda de la sociedad y la industria, la IA ofrece aspectos interesantes pues provee estrategias que permiten realizar de forma automática algunas de las tareas realizadas por los humanos. Así pues como resultado de esfuerzos multidisciplinarios ha resultado el estudio y desarrollo de sistemas inteligentes, que a su vez han colaborado con el tratamiento de la información.

2.1.1 Definición

Los orígenes de la IA se remontan a la conferencia sobre teoría informática realizada en 1956 en el Dartmouth College en donde se presentaron diversos programas para desarrollar juegos y demostrar teoremas, entonces surgió el término “Inteligencia Artificial” (McCarthy, Minsky, Newell, Simon).

Según la definición dada por Minsky, la **IA** es la ciencia orientada al diseño y a la construcción de máquinas que sean capaces de hacer tareas propias de la mente humana, según Feigenbaum y Mc Corduck dichas tareas incluyen el diálogo con las personas en lenguaje natural, la comprensión de las imágenes y los lenguajes y podrán aprender a asociar, hacer deducciones, tomar decisiones y comportarse en general de un modo que siempre hemos considerado exclusivo de la razón humana.

Considerando que la IA es un campo que se desarrolla muy rápidamente, continuamente aparecen nuevos hallazgos para hacer frente a nuevas y diferentes situaciones, a continuación se describen brevemente algunos campos de estudio que abarcan la IA para el desarrollo de sistemas: [Sánchez, 1990] [Castillo, y otros, 1998]

- **Robótica** (manipulación), que estudia las máquinas que combinan elementos mecánicos, sensores y ordenadores que les permiten interactuar con objetos del mundo real y llevar a cabo tareas de forma precisa, rápida y cómoda, semejantes a las tareas propias de un ser humano por medio del procesamiento de información y las técnicas de la IA para la toma de decisiones y la solución de problemas.
- **Sistemas Expertos** (razonamiento), estudian la simulación de los procesos intelectuales de los expertos humanos como: la interpretación de datos, el diagnóstico, la corrección, la monitorización, el control, la predicción, la planificación, el diseño y la enseñanza.
- **Reconocimiento de patrones** (percepción), trata de diferentes técnicas de clasificación para identificar los subgrupos con características comunes en cada grupo, y con el grado de asociación se obtiene una conclusión diferente. Los algoritmos desarrollados en esta área son herramientas útiles en otros campos como en el reconocimiento de lenguaje natural, la visión por computadora, el reconocimiento de imágenes, el reconocimiento de señales, el diagnóstico de fallos de equipos, el control de procesos, etc.



SISTEMA EXPERTO PARA LA INTERPRETACIÓN MAMOGRÁFICA *Sistemas Expertos*



- **Reconocimiento de lenguaje natural**, entre sus objetivos se encuentra tanto la extracción de información de un texto escrito siendo éste el medio de comunicación que ha adquirido gran importancia, como la generación de lenguaje, es decir, dotar a las computadoras de capacidades para generar sentencias de lenguaje natural. Otro de los objetivos del reconocimiento del lenguaje natural es el reconocimiento de voz. Es decir, la forma de procesar el lenguaje hablado y capturar los diferentes elementos de una conversación. Ejemplos: ELIZA conversa con un paciente psiquiátrico y SIR contesta sobre un tema determinado.
- **Visión por computadora**, cuya finalidad es el estudio de la posibilidad de usar ordenadores para la identificación, inspección, localización y verificación de objetos en tres dimensiones. Ejemplos: POPEYE identifica formas y POLY interpreta croquis.
- **Representación del conocimiento** (razonamiento), estudia formas “inteligentes” para representar y procesar información como en variables, objetos, reglas lógicas, entre otras. Los esquemas de representación resultantes deberán permitir la recuperación y la operación eficiente del Motor de inferencia.
- **Programación automática** (creación), estudia las formas automáticas de generar programas que resuelvan los problemas planteados cumpliéndose una serie de especificaciones. Dada la existencia de problemas complejos, para facilitar su manejo éstos se descomponen en varias partes las cuales se analizan por separado para obtener la solución del problema.
- **Redes neuronales** (aprendizaje), resurgen en la década de los 80's en respuesta a la necesidad de emular el proceso de aprendizaje en el ser humano. Son sistemas compuestos por estructuras de red con un gran número de conexiones entre diferentes capas de procesadores (reproduciendo de forma básica las funciones principales del cerebro humano), realizan diferentes funciones determinadas por la estructura de la red, las conexiones y el procedimiento local en los nodos, en ellos, se efectúa una labor de aprendizaje por analogía, es decir, por la reproducción de las salidas de un conjunto de señales de entrenamiento. También son definidas como aproximaciones de funciones matemáticas.
- **Computación evolutiva** (naturaleza biológica), se basa en el desarrollo de sistemas tomando como modelos del mundo biológico, la evolución y la selección natural. Se aplica en la resolución de problemas de aprendizaje de máquinas, de optimización como el sistema computacional inmunizado (que retoma la operación de un sistema biológico inmune). Dentro de la Computación evolutiva se encuentran:
 - **Algoritmos genéticos**. Surgieron en 1975 del estudio de los autómatas celulares llevado a cabo por Holland, en la Universidad de Michigan. Se definen como un procedimiento de búsqueda y optimización, basado en los mecanismos genéticos de la selección natural de los seres vivos. El funcionamiento básico es la evolución a partir de una población que ofrece soluciones candidatas a un problema para mejorar las soluciones existentes y generar nuevas, las cuales son evaluadas por una función de ajuste. Ejemplo: en la solución de problemas de optimización por su capacidad de procesamiento en paralelo y por ofrecer soluciones concurrentes.
 - **Programación genética**. Se basa en los principios evolutivos de los Algoritmos genéticos para hacer evolucionar programas informáticos. Ejemplo: Reynolds estudió que la coordinación de todo el robot puede ser desarrollada mediante un conjunto de criterios usando la programación genética.
- **Demostración automática de teoremas** (razonamiento), se refiere a la capacidad de hacer deducciones lógicas realizadas por máquinas programables. Las computadoras son capaces no sólo de modificar el conocimiento existente, sino también de obtener conclusiones nuevas. Los demostradores de teoremas han sido utilizados en varios campos de las matemáticas, tales como la lógica, la geometría, etc.

Después de hacer una breve descripción de los campos de la IA (Ver Figura 2) podemos inferir que algunos se relacionan entre sí, de igual forma, las aplicaciones de la IA suelen necesitar la intervención de varios de los campos mencionados.



SISTEMA EXPERTO PARA LA INTERPRETACIÓN MAMOGRÁFICA

Sistemas Expertos

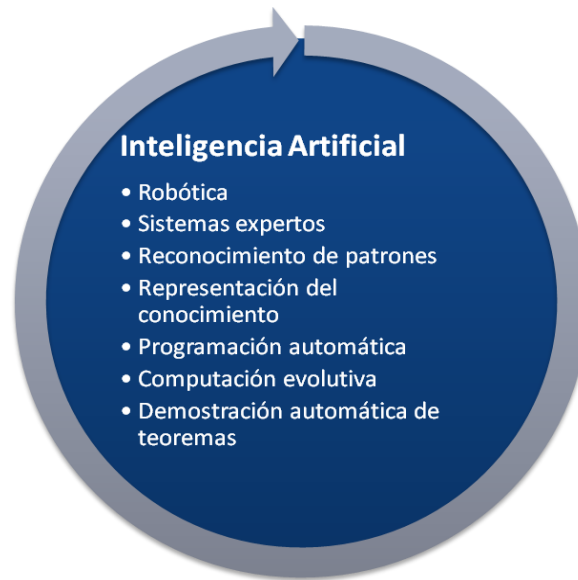


Figura 2 Campos de estudio de la IA

2.1.2 Breve historia

Los primeros estudios acerca de la Inteligencia Artificial (IA) aparecen en la década de los 40's, época en la que se inventaron las computadoras, entonces se empiezan a escribir programas de computadora para la resolución automática de problemas y al mismo tiempo se empieza a estudiar la forma de representar los procesos mentales mediante el uso de la computadora.

En la evolución de la IA, pueden diferenciarse tres épocas: [Russell & Norvig, 2003] [Marcellin Jacques, 1997]

- **Orígenes de la IA.** En esta época se crean técnicas básicas para la representación del comportamiento inteligente como métodos y lenguajes. Este periodo abarca de 1943 a 1963.

Una de las aportaciones importantes, sin duda fue el desarrollo del sistema "inteligente" basado en los trabajos (sobre la simulación a nivel neuronal del cerebro) hechos por Warren McCulloch y Walter Pitts (1943) llamado PERCEPTRÓN, el cual es un sistema visual de reconocimiento de patrones que sirvió para resolver varios problemas de diversa índole y como fundamento de las redes neuronales.

En 1950, Alan Turing presentó un estudio sobre la IA, "Computing Machinery and Intelligence". En este documento, propuso el llamado "Prueba de Turing" para determinar cuándo una máquina posee IA.

En el taller realizado en el Dartmouth College (1956) sobre la teoría de autómatas, las redes neuronales y el estudio de la inteligencia, reunió a figuras como John McCarthy, Marvin Minsky, Claude Shannon, Nathaniel Rochester, Trenchard More, Arthur Samuel, Ray Solomonoff, Oliver Selfridge, Allen Newell y Herbert Simon (los cuales dominaron el campo de la IA por los siguientes 20 años) y favoreció el establecimiento del término "Inteligencia Artificial" propuesto por McCarthy para darle un nombre al campo que abarcara las áreas mencionadas.

Newell y Simon (1963) trabajaban en la solución del juego de ajedrez y en la demostración de teoremas, cuando lograron desarrollar un programa llamado Solucionador General de Problemas (GPS, por sus siglas en inglés). (Consultar sección 2.3)

- **Prototipos.** [Schutzer, 1987] Esta segunda época abarca de 1966 a 1973. Se desarrollan proyectos complejos en centros de investigación.

Un equipo de investigadores encabezado por Edward Feigenbaum (1969) comenzó a elaborar SE.



SISTEMA EXPERTO PARA LA INTERPRETACIÓN MAMOGRÁFICA

Sistemas Expertos



También surgió el campo del procesamiento de lenguaje natural, la investigación en ésta época incrementó el número de avances, los primeros trabajos que se realizaron fueron en las áreas de visión por computadora y reconocimiento de lenguaje natural.

Para finales de los años 70's ya había causado un impacto en muchas áreas entre las que se incluyen las técnicas de programación, psicología, matemáticas, química, ingeniería genética, geología, exploración petrolera, medicina y negocios.

Una de las aplicaciones destacadas en ésta época fue ROBOT una fuente definitiva de lenguaje natural, que llevó al producto comercial INTELLECT desarrollado por CIA (Corporación de Inteligencia Artificial).

- **La IA se convierte en una industria.** Se aceptan los proyectos de IA como una actividad informática profesional, se desarrollan proyectos en las empresas privadas que son más comerciales que los desarrollados en la etapa anterior, esta época inicia a partir de 1980.

Para 1984 existían 151 empresas dedicadas al desarrollo de sistemas de IA y 3 empresas desarrollaban hardware basado en las máquinas LISP. Las aplicaciones más importantes se dan en los Sistemas Basados en Conocimiento. En ese sentido, se desempeñan actividades encaminadas a crear entornos de programación que faciliten la construcción de Bases de conocimiento cuya uso sea para dar solución de problemas técnicos y administrativos, así como al mejoramiento de interfaces que facilitaran la interacción de los sistemas con los usuarios finales.

Se trabaja en la creación de sistemas de robots inteligentes capaces de obtener información mediante sensores, mecanismos de visión y capaces de ejecutar tareas mediante especificaciones sencillas.

En 1988 surgen empresas dedicadas al desarrollo de sistemas basados en la tecnología de los SE como: AION, FIRST CLASS EXPERT SYSTEMS, GOLD HILL COMPUTERS y INTELLIGENT TECHNOLOGY GROUP.

A continuación se muestran a manera de resumen, las épocas y los sucesos más importantes en la evolución de la IA:

Época	Año(s)	Los sucesos más importantes
ORÍGENES DE LA IA	1943 – 1955	McCulloch y Pitts- Interés en el estudio neurofisiológico del cerebro, tratan de entender su funcionamiento (redes neuronales). Shannon – Crea el primer juego de ajedrez. Turing- El juego de la imitación.
	1956 Nace la IA	Conferencia en el Dartmouth College. John McCarty propone el nombre de “Inteligencia Artificial”.
	1957 – 1962 Grandes expectativas en la IA	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Newell – Programa lógica teórica. ▪ McCarty- Primera versión de LISP. ▪ Widrow (ADALINES), Rossenblatt (PERCEPTRON). ▪ Minsky – Representaciones del conocimiento. ▪ Feigenbaum – SE DENDRAL. ▪ Participan en investigaciones MIT, Carnegie-Mellon, Stanford. ▪ Ernst- crea el primer brazo robot controlado por computadora. ▪ Minsky y Papert realizan trabajos de visión. ▪ ELIZA – Simula Psoterapista.
	1963	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Newell y Simon – Crean el Solucionador General de Problemas (GPS, por sus siglas en inglés).



SISTEMA EXPERTO PARA LA INTERPRETACIÓN MAMOGRÁFICA

Sistemas Expertos



Época	Año(s)	Los sucesos más importantes
PROTOTIPOS	1966-1973 El encuentro con la realidad	Limitación de representación de conocimiento. Imposibilidad de dar solución a múltiples problemas reales. Colmerauer – PROLOG. Winograd – SHDLRU, robot manipulador de cubos de colores. Minsky y Papert – ataque a las redes neuronales. Desarrollo de múltiples Sistemas basados en conocimiento. Trabajos de lenguaje natural.
LA IA SE CONVIERTE EN UNA INDUSTRIA.	1980 La IA es vista como una industria.	Surge el proyecto de la quinta generación en Japón: <ul style="list-style-type: none">Alto nivel de inteligencia para cooperar con la gente.Bases de conocimiento.Procesamiento simbólico.Toma de decisiones.Solución de problemas sociales.Percepción.
	1986 Resurgimiento de las redes neuronales	Desarrollos con algoritmos genéticos.
	1995	Surgen los Agentes inteligentes, énfasis en el comportamiento inteligente. Extracción de conocimiento.
	1997 – 1999	Ajedrez – Deep Blue. Juguetes y mascotas (robots).
	2000	Aplicaciones espaciales. Aplicaciones para el hogar y colaboración con humanos.

Tabla 1 Resumen de la evolución de la IA

2.1.3 Estrategias

El desarrollo de la IA siempre ha estado relacionado con los avances tecnológicos en el campo de la computación, la electrónica, los sensores, el procesamiento de señales, la representación de la información, etc. proporcionando nuevas herramientas para el desarrollo de sistemas inteligentes.

Para el desarrollo de la IA ha sido indispensable la intervención de varias disciplinas, dándole un carácter dinámico y amplio, por esta razón, se han generado varias estrategias para lograr la participación de esta área en diferentes ámbitos.

Cada una de las estrategias de la IA contribuye con una metodología para abordar los problemas que se presentan en su dominio de aplicación y poseen su propia fundamentación. Cuando dos o varias estrategias de la IA se unen se forman los “sistemas híbridos”, como los sistemas neuro-difusos que combinan la estrategia de las redes neuronales con la lógica difusa. Adicionalmente se puede mencionar que las estrategias se centran en ciertas funciones de los seres humanos.



SISTEMA EXPERTO PARA LA INTERPRETACIÓN MAMOGRÁFICA

Sistemas Expertos



Algunas de las estrategias de la IA se muestran a continuación, la tabla muestra el nombre de la estrategia, la descripción y un ejemplo de aplicación que tiene. [Pajares Martinsanz & Santos Peñas, 2006]:

Nombre	Descripción	Aplicación
Redes de Petri	<p>Carl Adam Petri (1962) publicó en su tesis doctoral, por primera vez, la formación de teoría general para sistemas discretos paralelos.</p> <p>Las redes de Petri son una generalización de la teoría de autómatas y hacen uso de métodos gráficos para representar sistemas como condiciones y eventos.</p>	Un modelo de este tipo formula las propiedades de un sistema en el lenguaje de la lógica aunque también utiliza la representación algebraica.
Lógica difusa (lógica borrosa)	<p>Fue introducida por Lofti A. Zadeh (1985).</p> <p>Es una generalización de la lógica clásica: las variables toman valores lingüísticos reales, es decir, es una forma matemática de representar lo impreciso que puede ser el lenguaje natural.</p>	Por medio de la lógica difusa se puede implementar la forma de razonar propia del sentido común.
Teoría del caos	<p>Es el conjunto de técnicas usadas para examinar y determinar relaciones complejas entre datos clasificados inicialmente al azar.</p> <p>Una característica importante es que una pequeña variación en las condiciones iniciales, puede generar cambios drásticos en los resultados.</p>	Es una herramienta con aplicaciones a muchos campos de la ciencia y la tecnología. Por ejemplo, en las áreas de la meteorología o la física cuántica, y actualmente hay varios ejemplos de aplicación en la arquitectura a través de los fractales.

Tabla 2 Estrategias de la IA

2.2 Definición de SE

La definición más universal es la aportada por Forsyth (1986) la cual, dice que: “*Un Sistema Experto (SE) es un programa de computadora que reemplaza a un experto humano*”, esta definición está basada en la prueba de existencia de IA planteada por Alan Turing y que particularizada para los SE queda como sigue: “*Si la ejecución de un conjunto de programas de computadora puede convencernos de que su comportamiento es el que tendría un experto humano, entonces ese conjunto de programas es un verdadero SE*”. [Sánchez Beltrán, 1990]

El precursor en el conocimiento y tecnología de los SE es el investigador y profesor, el Dr. Edward Feigenbaum quien los define como: “*un programa de computadora inteligente que usa el conocimiento y los procedimientos de inferencia para resolver problemas que son lo suficientemente difíciles como para requerir la intervención de un experto humano para su solución*”. [(Castillo & Álvarez, 1989)]

Entonces, podemos unificar estas definiciones y determinar que un **Sistema Experto** es un sistema informático de hardware y/o software que se asemeja a los expertos humanos en la resolución de problemas que requieren la aplicación de la inteligencia humana en un dominio específico, se puede pensar en un SE como un consultor que suministra ayuda a los usuarios con un grado razonable de fiabilidad.

Los SE son un campo de estudio de la IA, y desde este punto de vista, estudian el procesamiento de la información en la mente humana, es decir, cómo se lleva a cabo el proceso de pensar en el cerebro,



SISTEMA EXPERTO PARA LA INTERPRETACIÓN MAMOGRÁFICA

Sistemas Expertos



principalmente cuando se trata de la resolución de problemas en un dominio específico mediante la aplicación del conocimiento de un experto humano.

Es importante establecer la diferencia entre un SE y un sistema clásico, dada la existencia de diferencias evidentes, por ejemplo: un SE tendrá una Base de hechos en lugar de datos, las reglas de producción de una Base de conocimiento sustituyen al algoritmo de un sistema clásico y el Motor de inferencia funciona de manera análoga al control que es el programa del sistema clásico (Ver Figura 3), existen otras diferencias importantes y se muestran en la siguiente tabla: [Giarratano & Riley, 2001] [Turban, 1992]

Características	Sistema clásico	Sistema Experto
ENTRADAS	Datos como: números, caracteres o señales que indiquen el inicio de un evento.	Planteamiento del problema. Datos, relaciones, restricciones. Solicitud de explicación.
SALIDAS	Datos como: números, texto, gráficos, reportes o ejecución de una acción. Siempre correcta.	Solución de problema. Repuestas y explicaciones que varían con el problema.
PROCESAMIENTOS	Algoritmos. Procesos. Funciones.	No algorítmicos. Búsqueda en espacio de soluciones. Razonamiento.
TAREAS GENÉRICAS	Envuelven cálculos, recuperación y almacenamiento de grandes volúmenes de datos. Generación de reportes.	Diagnóstico. Predicción. Diseño. Depuración. Control.
EJECUCIÓN	Ejecuta una secuencia de pasos.	La ejecución usa <u>heurísticas</u> y lógica.
EXPLICACIÓN	No da explicaciones, los datos sólo se usan o escriben.	Una parte del SE es un módulo de explicación.
CAPACIDADES COGNITIVAS	Sin.	Razonamiento. Aprendizaje. Manejo de incertidumbre.
INFORMACIÓN	Necesita información completa para operar.	Puede operar con información incompleta. Funciona con pocas reglas.
REPRESENTACIÓN Y USO DE INFORMACIÓN.	Representa y usa datos.	Representa y usa conocimiento.
MODIFICABLE	Las transacciones con datos provenientes de las Bases de datos generan modificaciones continuas. Los cambios en el programa pueden resultar tediosos, el programa entero debe ser examinado.	El conocimiento que está representado en la Base de conocimiento se puede modificar en un grado razonable porque éste es estático. Si es necesario agregar nuevo conocimiento se hace con facilidad, sin afectar la estructura del programa completo.
CONOCIMIENTO Y PROCESAMIENTO	Combinados en un programa.	La Base de conocimiento está separada del mecanismo de procesamiento.

Tabla 3 Diferencias entre un Sistema Experto y un sistema clásico



SISTEMA EXPERTO PARA LA INTERPRETACIÓN MAMOGRÁFICA *Sistemas Expertos*

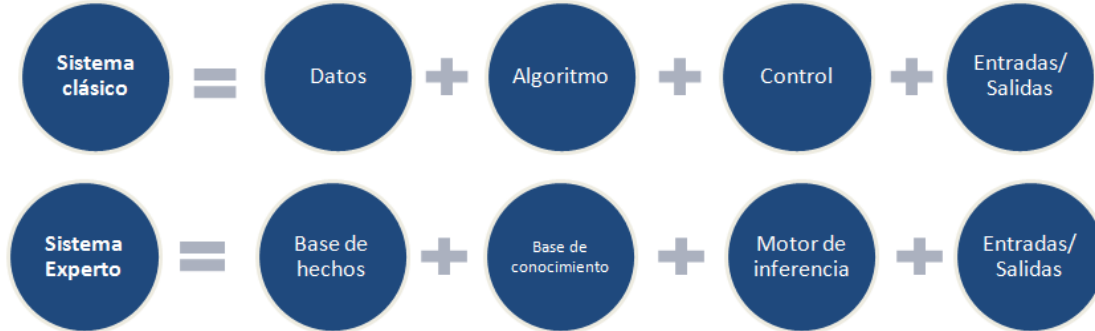


Figura 3 Esquemización de la comparación de un Sistema Experto con un sistema clásico ¹

2.3 Evolución histórica de los SE

A finales de los 50's y principios de los 60's, se escribieron varios programas de computadora orientados al proceso de la solución de problemas, el más destacado de ellos fue el **Solucionador General de Problemas** (GPS, General Problem Solver) elaborado en 1957 por Alan Newell y Herbert Simon, en el cual quedó demostrado que dicho proceso puede representarse en la mente humana por medio de reglas de producción, idea que sin duda alguna marcó el desarrollo y la popularidad de los SE pues proponía que cada regla de producción representaba un segmento de la memoria humana y que en la solución de problemas se activaba alguna de éstas (la que tiene la mayor prioridad) como respuesta a un estímulo.

El GPS era un sistema en el que el usuario definía un entorno basado en una serie de objetos y los operadores que se podían aplicar sobre ellos, era capaz de trabajar con las Torres de Hanoi y con criptoaritmética, pretendía resolver problemas de diferente índole, como normalmente lo hacen los humanos, sin embargo, sus desarrolladores se dieron cuenta de que no era posible que un computador manejara tanto conocimiento y pudiera resolver problemas del mundo real, médicos o tomar decisiones importantes, por lo que un grupo de investigadores en los años 70 encabezado por el Dr. Edward Feigenbaum pensaron en hacer programas que resolvieran problemas de la vida real y que estuvieran especializados en un dominio o área específica del conocimiento y de esta forma surgen los SE.

En la evolución de los SE podemos identificar cuatro etapas principales [Castillo & Álvarez, 1989]: etapa de iniciación, etapa de experimentación y desarrollo y etapa de industrialización, en seguida se describe brevemente cada una de ellas (Ver Figura 4):

1) Etapa de iniciación. Esta etapa abarca de 1965 a 1970.

Con la finalidad de generar sistemas inteligentes que dependieran de las técnicas de razonamiento en alguna área específica, en 1965 el equipo dirigido por Edward Feigenbaum desarrolló el programa DENDRAL utilizado para resolver problemas que tenían que ver con la estructura química molecular partiendo de su análisis espectrográfico, sin embargo, resultaba difícil que los químicos introdujeran información y los conocimientos contenidos en él eran inferiores los de un ser humano. Entre otros sistemas, en el área médica se crea SHRINK, que ayudaba en el diagnóstico en psiquiatría.

Joseph Weizenbaum crea ELIZA (1966) para ilustrar que las técnicas de lenguaje natural pueden hacer que una computadora parezca inteligente.

¹ Imagen obtenida de la tesis "Sistema Experto de Diagnóstico médico del síndrome de Guillian Barre". Lima Perú 2002. Publicado el 20 de septiembre del 2005. Requiere Acrobat Reader. Capítulo 1. Teoría de Sistemas Expertos parte 1.4. Arquitectura. Pág. 26. Disponible en: <http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/Tesis/Basic/carlos_sm/carlos_sm.PDF>.



SISTEMA EXPERTO PARA LA INTERPRETACIÓN MAMOGRÁFICA *Sistemas Expertos*



Otro de los SE desarrollados en esta etapa y considerado como uno de los primeros SE, es MACSYMA (1969) que es un sistema realiza operaciones de cálculo diferencial e integral y simplifica expresiones simbólicas, es un programa que efectuaba hasta 600 operaciones matemáticas diferentes.

- 2) **Etapa de experimentación y desarrollo.** Entre 1970 y 1980 se dio a los SE un enfoque que los llevó al éxito, se dijo que la parte medular para construir un SE era entender que no solamente debían basarse en el razonamiento sino en el dominio del conocimiento, hablando de un experto humano se traduce en un vasto conocimiento de la heurística y de la experiencia adquirida con los años.

El desarrollo del lenguaje de programación PROLOG (PROgraming lenguaje for LOGic) en 1970, creado, en su primera versión por Colmerauer, Roussel y Kowalski, significó una gran evolución de los SE, ya que el enfoque de la programación pasó de expresar el **cómo** resolver un problema (lenguajes procedurales) a expresar el **qué** (conocimiento empleado para resolver un problema). El primer compilador de PROLOG fue debido a David Warren de la Universidad de Edimburgo.

En 1972 la Universidad de Stanford desarrolló MYCIN (Consultar sección 2.7.1.1) que era un sistema capaz de diagnosticar enfermedades infecciosas de la sangre, éste sistema fue el primero que introdujo el manejo del razonamiento impreciso, permitiendo asignar a los objetos valores entre 0 y 1 para representar los grados de certidumbre.

Surge TEIRESIAS cuyo objetivo era servir como intérprete entre MYCIN y los especialistas que lo manejaban, para introducir nuevos conocimientos en la Base de conocimiento.

En ésta misma etapa, surgió el desarrollo del lenguaje de programación LISP a partir del cual se desarrollaron entornos de diseño basados en la experiencia con aplicaciones, entre los que destacan INTERLISP y MACLIPS.

Se desarrolló un SE para evaluar prospecciones geológicas con la finalidad de encontrar yacimientos minerales llamado PROSPECTOR (1976), es importante mencionar que el desarrollo de éste sistema fue impulsado por MYCIN, en 1982 después de analizar los datos recabados por el sistema PROSPECTOR se determinó que en una zona de Washington existían yacimientos de molibdeno, ante esta conclusión, los expertos se mostraron incrédulos hasta que se demostró por medio de una excavación la efectividad del sistema. De PROSPECTOR se derivó el shell KAS (Knowledge Acquisition System).

Entre los SE desarrollados en esta época también se encuentra HERSAY II, creado en la Universidad de Carnegie-Mellon, cuyo objetivo principal era la identificación de la palabra hablada, de él deriva HASP diseñado para interpretar señales de un sonar y así explorar océanos, también se desarrolló MOLGEN que es un sistema que ayuda a los biólogos en el diseño de experimentos de genética molecular, INTERNIST desarrollado en la Universidad de Pittsburgh, es un sistema de medicina interna, puede diagnosticar hasta 500 enfermedades decidiendo cuál de ellas tiene el paciente, una vez que se han presentado síntomas y realizado pruebas y CASNET es un SE para el diagnóstico de glaucoma, considerado un sistema potente por el tamaño de la Base de conocimiento, de él derivó el shell EXPERT con el que se construyeron programas experimentales de consulta.

En 1978 se construyó XCON de Digital Equipment Corporation (DEC), usado en negocios de rutina. Originalmente fue llamado R1 y fue desarrollado junto con John McDermott, de la Universidad de Carnegie-Mellon. XCON es un SE para la configuración de sistemas de cómputo y es probablemente uno de los sistemas cuyo uso rutinario es el más exitoso ya que ahorra a la DEC millones de dólares al año, reduce el tiempo para configurar los pedidos y mejora su exactitud. [Giarratano & Riley, 2001]

Otras implementaciones destacadas de SE en esta etapa son las siguientes:

- PUFF desarrollado para la interpretación de la pruebas de enfermedades pulmonares, construido por la Universidad de Stanford.
- HAIL para diseño y ensamble de una placa de circuito hecho por Hazeltine.
- CAT orientado al mantenimiento de locomotoras construido por General Electric.



SISTEMA EXPERTO PARA LA INTERPRETACIÓN MAMOGRAFICA *Sistemas Expertos*



- 3) Etapa de industrialización.** A principios de los años 80 los SE se empezaron a utilizar en productos comerciales debido a que algunas empresas invierten en investigaciones sobre Inteligencia Artificial. Dados los altos niveles de procesamiento hubo avances importantes en materia de hardware para ejecutar con mayor velocidad el software usado para el desarrollo de SE, así mismo, para cubrir la necesidad de ofrecer diferentes opciones de desarrollo de este tipo de sistemas, se originaron nuevas herramientas de software, que contemplaban los componentes básicos de un SE e incluían la Herramienta Automática de Razonamiento (ART) de la Inference Corp., la Knowledge Engineering Tool (KEE) de IntelliCorp y Rulemaster de Radian Corp.

Además, en ésta etapa se desarrollaron herramientas como CLIPS (C lenguaje Integrated Production System) que fue creado en 1984 por la NASA para satisfacer sus necesidades en el campo de la IA. (Consultar sección 2.11.4)

Debido a la inversión que se estaba haciendo en esta área, los nuevos sistemas debían resolver problemas más complejos, así como mejorar y ampliar la Representación del conocimiento, por lo que surgen sistemas como STRIPS diseñado para ser usado en robots móviles y una versión mejorada es ABSTRIPS que maneja varios niveles de abstracción.

También aparecen sistemas de inferencia como OPS y DRILLING/DIPMETER ADVISOR utilizado para diagnosticar problemas en la perforación de pozos petrolíferos e interpretación de sondeos, desarrollado por Schlumberger.

En esta etapa existen empresas que ofrecían soluciones comerciales en el área de SE [Marcellin Jacques, 1997] como: First Class Expert Systems, Gold Hill Computers, Intelligent Technology Group, Teknowledge Inc., Carnegie Group, Symbolics, LISP Machines Inc., Thinking Machines Corporation, Cognitive Systems Inc., etc.

Con el desarrollo de la informática en los años 90, se producen notables avances en el campo de la IA y los SE, por lo que se puede afirmar que actualmente los SE se han convertido en una herramienta habitual en diferentes áreas de conocimiento, numerosas empresas, organizaciones e instituciones poseen laboratorios de investigación como: IBM, Tektronix, Fujitsu Digital, Equipment Corporation, Hewlett Packard, etc., en donde se diseñan y mejoran sistemas de alta tecnología. [Giarratano & Riley, 2001]

En un futuro, los SE podrán dar mayor soporte en la toma de decisiones, captar y concentrar el conocimiento del experto humano haciendo que éste perdure a través del tiempo, integrarse con otras tecnologías para dar un mayor soporte en diferentes áreas, incluirse en la extracción de información de las Bases de datos o mejorar la interfaz de tal forma que ésta sea en lenguaje natural facilitando la interacción con el usuario.



SISTEMA EXPERTO PARA LA INTERPRETACIÓN MAMOGRÁFICA

Sistemas Expertos

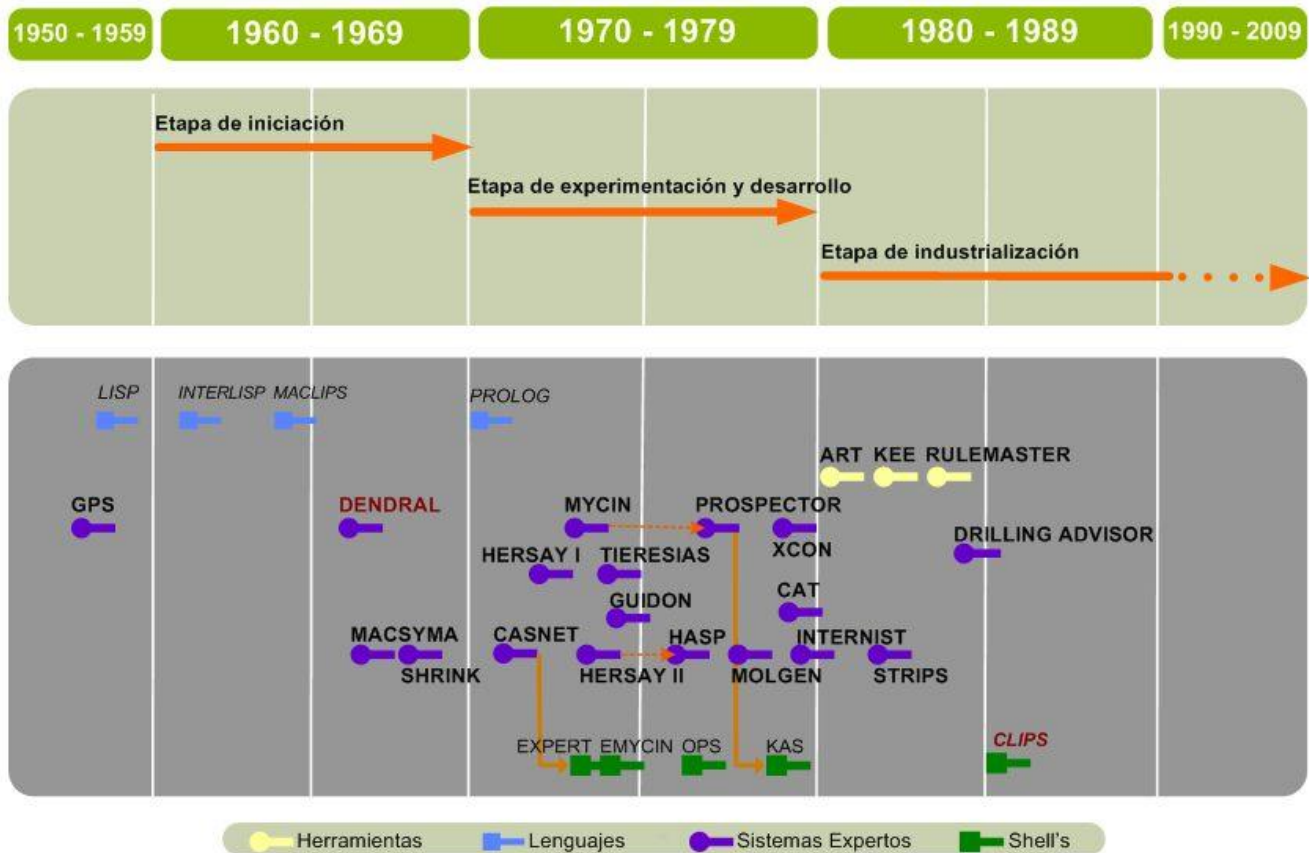


Figura 4 Evolución histórica de los SE²

2.4 Tipos y clasificaciones

Existen diferentes ejemplos de clasificaciones, sin embargo las que a continuación se describen consideran aspectos fundamentales como la forma de estructurar el conocimiento o el tipo de función que desempeñan.

De acuerdo a la forma de estructurar el conocimiento los SE se clasifican en: **deterministas** y **estocásticos**. [Castillo, Gutiérrez, & Hadi, 1998]

Los **SE deterministas** son los sistemas basados en reglas, resuelven problemas deterministas que pueden ser expresados mediante un conjunto de reglas y obtienen conclusiones de un conjunto de reglas por medio de un mecanismo de razonamiento lógico.

Los **SE estocásticos** son sistemas basados en la probabilidad, tratan de resolver problemas del tipo estocástico que surgen en situaciones inciertas, donde es necesario introducir algunos medios que determinen la incertidumbre. Por ejemplo, algunos sistemas basados en reglas, introducen una medida asociada a la incertidumbre de las reglas y a la de sus premisas, utilizan la probabilidad para calcular la incertidumbre asociada a las conclusiones, también son conocidos como SE probabilísticos.

² Imagen obtenida a partir de la investigación hecha sobre la evolución de los SE.



SISTEMA EXPERTO PARA LA INTERPRETACIÓN MAMOGRÁFICA *Sistemas Expertos*



Las diferencias más importantes entre ambos se encuentran principalmente en la Base de conocimiento y en el Motor de inferencia, la Base de conocimiento de los SE deterministas está constituida por un conjunto de reglas, en tanto que en los SE estocásticos está constituida por el espacio probabilístico, el Motor de inferencia en los primeros consiste en el encadenamiento de reglas y en el segundo en la evaluación o determinación de las probabilidades condicionales.

En la siguiente tabla se presenta un análisis por cada elemento que compone a los sistemas deterministas y estocásticos [Castillo & Álvarez, 1989]:

Elementos	Deterministas	Estocásticos
Base de conocimiento	Abstracto: Estructura probabilística. Concreto: Hechos.	Abstracto: Reglas. Concreto: Hechos.
Motor de inferencia	Evaluación de probabilidades condicionales. (Teorema de Bayes)	Encadenamientos hacia adelante y hacia atrás. (Consultar sección 2.8.2.2)
Módulo de explicación	Basado en probabilidades condicionales.	Basado en reglas activas.
Adquisición del conocimiento	Espacio probabilístico. Parámetros.	Reglas. Factores de certeza.
Módulo de aprendizaje	Cambio en la estructura del espacio probabilístico.	Nuevas reglas. Cambio en los factores de certeza.

Tabla 4 Elementos de los SE deterministas y estocásticos

Ambos tipos de SE tienen ventajas y desventajas, que se presentan a continuación:

Tipo	Ventajas	Desventajas
Deterministas	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Explicación fácil ▪ Solo implicaciones deseadas 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Motor de inferencia lento ▪ Dificultad de propagación de incertidumbre
Estocásticos	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Motor de inferencia rápido ▪ Aprendizaje paramétrico fácil ▪ Propagación de la incertidumbre fácil 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Elevado número de parámetros ▪ Implicaciones superfluas

Tabla 5 Ventajas y desventajas de los SE deterministas y estocásticos

Por otra parte, la mayoría de los SE se pueden clasificar por medio de la información que se les da como entrada, en dicha clasificación se tipifica una situación particular que forma parte de un grupo mayor de casos similares, es decir se clasifican, por el tipo de función que desempeñan [Marcellin Jacques, 1997], a continuación se presenta la descripción de cada subtipo: [González Pérez, 1995] [Sánchez Beltrán, 1990]

- **Interpretación.** A partir del análisis de un conjunto de datos obtenidos, trata de explicar el significado de estos, para describir la situación o el estado actual del sistema. Este tipo de sistemas presentan la problemática de que los datos pueden tener errores y como consecuencia, la interpretación se realiza con información parcial o contradictoria y en este caso, el sistema debe estar preparado para determinar cual información es posible, porque si la información no es confiable, la interpretación tampoco lo será. En este caso es de gran utilidad el encadenamiento hacia adelante (Consultar sección 2.8.2.2). Ejemplos: análisis de imágenes, de lenguaje, la comprensión del lenguaje o la interpretación de señales.



SISTEMA EXPERTO PARA LA INTERPRETACIÓN MAMOGRÁFICA *Sistemas Expertos*



- **Predicción.** Se deducen las consecuencias de situaciones dadas, se ignora la probabilidad de las estimaciones. Se pueden generar un gran número de posibles escenarios. Este tipo de sistemas debe tener la habilidad para tratar con eventos que cambian en el tiempo y con eventos que poseen un orden en el tiempo y requieren de la interacción de la información incompleta, deben ser capaces de explicar todos los posibles escenarios mediante el razonamiento hipotético, así como indicar la sensibilidad de las predicciones a variaciones en los datos de entrada. Para la implantación de este tipo de sistemas se utiliza un modelo paramétrico dinámico el cual ajusta los valores de los parámetros para cada situación, adicionalmente, la programación orientada a objetos y a procedimientos también es útil. Ejemplos: pronósticos del clima, predicciones demográficas o de tráfico y estimaciones de cosechas.
- **Diagnóstico.** El diagnóstico es un proceso mediante el cual se busca el mal funcionamiento de un sistema realizando la interpretación de datos observados. Los SE de diagnóstico, relacionan las irregularidades de un comportamiento con sus posibles causas. Los SE con encadenamiento hacia atrás, son muy útiles (Consultar sección 2.8.2.2). Ejemplos: diagnóstico médico, electrónico, mecánico, de software entre otros.
- **Diseño.** Consiste en la configuración de objetos que satisfacen restricciones o requerimientos establecidos por el problema a diseñar. Generan descripciones de objetos en diversas relaciones con otros y verifican que esas configuraciones cumplan con las restricciones establecidas. Para esta aplicación, los SE con encadenamiento hacia adelante, los sistemas basados en marcos (frames) y los sistemas basados en lógica resultan ser muy útiles (Consultar sección 2.8.2.2 y 3.3.4.3). Ejemplos: diseño de circuitos, de construcciones, de problemas de costos y de cualquier tipo de objeto.
- **Planeación.** En este tipo de sistemas se construye un plan de acciones (secuencia de acciones) que al ejecutarse cumple una meta, además, se verifica que no se consuman de manera excesiva los recursos, ni se violen las restricciones establecidas y establece prioridades, si existen conflictos entre las metas. Emplean modelos de comportamiento para inferir los efectos de las actividades planeadas, pero en el caso de que las actividades puedan cambiar en el tiempo, debe ofrecer flexibilidad. Es común que para la implementación de SE de planeación se utilice el encadenamiento hacia adelante, conocimientos de marcos, programación orientada a objetos y a procedimientos (Consultar sección 2.8.2.2 y 3.3.4.3). Ejemplos: La programación automática, en robots, proyectiles, rutas, comunicaciones, experimentos y problemas de planeación militar.
- **Monitoreo.** Compara observaciones efectuadas de manera continua sobre el comportamiento de un sistema en casos cruciales para que el plan tenga éxito. En otras palabras, realiza diagnósticos parciales a partir de la interpretación de las observaciones hechas, identifican puntos vulnerables. Resulta útil la utilización del encadenamiento hacia atrás y la combinación de éste con el uso de marcos (Consultar sección 2.8.2.2 y 3.3.4.3). Ejemplos: monitoreo por computadora en plantas nucleares, tráfico aéreo, monitoreo de pacientes, entre otros.
- **Depuración.** Prescripción de correcciones a mal funcionamiento diagnosticado en un sistema. Utilizan planeación, diseño y predicción para crear especificaciones o recomendaciones para corregir un problema diagnosticado. Para el desarrollo de SE de depuración se utiliza el encadenamiento hacia atrás, así como una combinación entre el encadenamiento hacia atrás y los marcos (Consultar sección 2.8.2.2 y 3.3.4.3). Ejemplos: depuración en editores de texto y la depuración por computadora en la forma de Bases de conocimiento inteligentes.
- **Reparación.** Ejecutan y desarrollan planes para administrar la corrección para algún problema diagnosticado. Incorpora depuración, planeación y ejecución. Se emplean para su implementación, el encadenamiento hacia atrás y la combinación de éste último con el uso de marcos (Consultar sección 2.8.2.2 y 3.3.4.3). Ejemplos: en automóviles, aviones y mantenimiento de equipos de cómputo y redes.
- **Instrucción.** Se hace un diagnóstico y depuración del comportamiento de los estudiantes frente a la solución de problemas en un área específica. Diagnostica las debilidades del conocimiento y se da un remedio adecuado y planea un tutorial que interactúe con el individuo para cubrir sus necesidades de



SISTEMA EXPERTO PARA LA INTERPRETACIÓN MAMOGRÁFICA *Sistemas Expertos*



conocimiento. También se conocen con el nombre de Sistemas Tutoriales. Se utiliza el encadenamiento hacia atrás y hacia delante (Consultar sección 2.8.2.2). Ejemplos: sistemas de instrucción en el dominio de las matemáticas, física, química, ingeniería y medicina, entre otros.

- **Control.** Modifican de forma adaptativa, el comportamiento total de un sistema por medio de la interpretación, predicción, reparación y monitoreo del comportamiento de éste. Debe interpretar en forma repetitiva la situación actual, predecir el futuro, diagnosticar las causas del problema, formular un plan que remedie la situación y monitorear la situación para garantizar el éxito del comportamiento del sistema. Es recomendable la utilización del encadenamiento hacia adelante, los sistemas orientados a objetos y a procedimientos (Consultar sección 2.8.2.2). Ejemplos: control de tráfico aéreo, de misiles, de manejo de negocios, de líneas de producción automatizadas y de equipos de vida artificial en salas de terapia intensiva.
- **Instrucción inteligente asistida por computadora.** Provee prácticas en la solución de problemas y sirve como herramientas de trabajo. Son programas que ayudan a una persona a aprender. Ejemplos: en la instrucción de materias como geografía, integración simbólica, lógica y teoría de conjuntos y en la instrucción sobre lenguajes de programación.

2.5 Características de los SE

Los SE son sistemas capaces de realizar una tarea específica de forma semejante a los seres humanos especialistas en cierta área del conocimiento, por lo que poseen características únicas fundamentales las cuales se mencionan en seguida: [Giarratano, y otros, 2001]

- **Solución de problemas con datos incompletos.** Esta característica es importante porque la información completa y exacta de un problema rara vez está disponible. Los SE pueden trabajar con datos inciertos e incompletos.
- **Alto desempeño.** El sistema debe tener la capacidad de resolver un problema de manera muy similar a la de un experto humano en un dominio específico. Esto significa que la calidad de la respuesta dada por el SE debe ser muy buena.
- **Consistencia en las respuestas (confiabilidad).** El conocimiento de varios expertos humanos puede combinarse, lo que da lugar a SE que proporcionen repuestas más confiables y constantes, debido a que muchas veces los expertos humanos dan soluciones diferentes al mismo problema o bien respuestas diferentes en distintas ocasiones.
- **Tiempo de respuesta adecuado.** El sistema debe actuar en un tiempo razonable, comparado con el tiempo requerido por un especialista para resolver un problema. Los SE suministran respuestas rápidas y confiables en situaciones en las que los expertos humanos no pueden o la solución dada por ellos no es confiable, debido a que la complejidad del problema impide al experto humano resolverlo.
- **Explicación de la solución (comprensible).** Esta característica es clave por la facultad que poseen los SE para poder explicar cómo es que se llegó a una conclusión, que decisiones se tomaron y porque lo hicieron, ofreciendo una explicación de los pasos de su razonamiento durante la ejecución, de tal forma que sea entendible y permite al experto humano corregir, enriquecer y validar el sistema.
- **Fácil modificación (flexibilidad).** Debido a la gran cantidad de conocimiento que un SE puede tener, es importante contar con un mecanismo eficiente, para añadir, modificar y eliminar conocimiento. Un SE hace posible que el conocimiento y el Motor de inferencia se encuentren separados facilitando así la modificación del conocimiento.
 - Los elementos de la Base de conocimiento son independientes, entre si, esta es una propiedad esencial de modularidad del conocimiento.
 - El orden en el que se introducen los elementos en el sistema no tiene influencia en los resultados.



SISTEMA EXPERTO PARA LA INTERPRETACIÓN MAMOGRÁFICA *Sistemas Expertos*



- La modificación de algún elemento del sistema, no tiene consecuencias fatales en el desarrollo del programa, sólo cambian las conclusiones de los razonamientos en las que el elemento interviene.
- **Capacidad de inferencia deductiva (aprendizaje).** Una de las características principales de un SE es la capacidad de aprendizaje, éste puede ser estructural o paramétrico. El primero se obtiene mediante la adición de reglas en la Base de conocimiento. El segundo se refiere a la estimación de frecuencias o probabilidades relacionadas obtenidas de los datos disponibles. Los SE con capacidad de inferencia deductiva pueden ser capaces de recuperar la información almacenada y hacer deducciones que produzcan nuevo conocimiento.
- **Replicación.** Los SE reproducen el conocimiento y heurística de los expertos humanos. Esto permite que se pueda copiar y distribuir la experiencia (partir de los datos introducidos por los expertos y los no expertos) tanto como se necesite y a un costo razonable.
- **Escaso sentido común.** En un SE es difícil representar el sentido común de un humano, no comprende realmente los efectos y las causas de un problema, no sabe cuáles son los efectos de tomar una decisión, sólo sabe la secuencia de inferencias.
- **Dominio limitado.** El dominio de aplicación y el conocimiento de los SE, es limitado.
- **Conocimiento heurístico.** El conocimiento contenido en él es heurístico, lo cual, le permite encontrar la mejor solución.

Es importante mencionar que no todos los SE poseen todas las características anteriormente mencionadas. Sin embargo, es significativo nombrarlas, para asentar la generalidad de los SE.

2.6 Ventajas de los SE

Las ganancias en tiempo y precisión resultantes del uso de los SE son muy altas por lo que existen varias razones para utilizarlos como alternativa a un programa tradicional, las más importantes son:

- **Preservación de la experiencia.** El conocimiento de los expertos humanos de los SE, se preserva para la posteridad, consiguiendo con ello la supervivencia del conocimiento en el caso de que éstos mueran.
- **Acceso al conocimiento.** Con ayuda de un SE, personas con poca experiencia pueden resolver problemas que requieren del conocimiento especializado de un humano por lo que se incrementa el número de personas que tienen acceso al conocimiento especializado. El conocimiento almacenado puede ser usado por los expertos pero también por los no expertos.
- **Difusión del conocimiento.** Multiplicar el número de expertos humanos cuando se da el caso en el que existen pocos, los SE exponen el conocimiento para que otros puedan aprender de ellos.
- **Concentración de conocimiento.** Los SE permiten representar el conocimiento de varios expertos humanos, así como, intercambiar datos y juicios de ellos, promoviendo la formación de nuevas ideas y reglas en el dominio del conocimiento.
- **Respuesta rápida.** Los SE pueden responder a preguntas y resolver problemas mucho más rápidamente que un experto humano. Por ello, los sistemas son muy valiosos en casos en los que el tiempo de respuesta es crítico. Los SE suministran respuestas rápidas y fiables en situaciones en las que los expertos humanos no pueden, debido a la capacidad de las computadoras para procesar un elevadísimo número de operaciones complejas de forma rápida y aproximada.
- **Disponibilidad permanente.** Los SE están disponibles las 24 horas del día.
- **Solución a problemas con datos incompletos.** Debido a la naturaleza heurística de los SE, son capaces de resolver problemas con datos incompletos o inciertos.
- **Reducción de costos.** El uso de los SE disminuye el precio del acceso al conocimiento.



SISTEMA EXPERTO PARA LA INTERPRETACIÓN MAMOGRÁFICA

Sistemas Expertos



- **Calidad del conocimiento.** En el proceso de desarrollo, los expertos humanos mejoran la calidad del conocimiento que poseen.
- **Consistencia.** En los SE no hay cabida para la subjetividad ya que trabajan con el conocimiento plasmado en la Base de conocimiento por lo que siempre obtienen la misma respuesta a partir de los mismos datos.

Por las características mencionadas anteriormente, el uso de los SE es especialmente recomendado en las siguientes situaciones:

- Cuando los expertos humanos en determinada área son escasos.
- En situaciones muy complejas, en donde la subjetividad del ser humano pueda llevar a conclusiones erróneas.
- Cuando la cantidad de datos a considerar para llegar a una conclusión sea muy grande.
- Cuando las conclusiones se obtienen a partir de la aplicación de reglas.

A continuación se muestran las diferencias entre un experto humano y un experto artificial, resaltando las ventajas de usar un experto artificial.

Experto humano	Experto artificial
No permanente	Permanente
Difícil de transferir	Fácil de transferir
Difícil de documentar	Fácil de documentar
Impredecible	Consistente
Caro	Costeable
Creativo	No creativo
Adaptativo	Necesita aprender
Experiencia personal	Entrada simbólica
Enfoque amplio	Enfoque limitado
Conocimiento del sentido común	Conocimiento técnico

Tabla 6 Diferencias entre un experto humano y un experto artificial

2.7 Áreas de aplicación de los SE

Los SE han tenido aplicaciones en casi todas las áreas del conocimiento dado que en todas ellas hay un experto humano para la solución de problemas. Algunos SE han sido diseñados como medio de investigación, en tanto que otros están diseñados para satisfacer las necesidades de los negocios o de las industrias, a continuación se mencionan algunas áreas en donde los SE han incursionado de manera destacada y algunos ejemplos específicos de aplicación: [González Pérez, 1995]

- **Administración de información.** Como ejemplos de uso se encuentran: la administración de Bases de datos (demanda, actualización y recuperación de información) y el desarrollo de interfaces de lenguaje natural para servicios de información en Bases de datos en línea (servicios en bibliotecas y centros de información de dominio público).
- **Derecho.** Asistencia en la investigación de razonamiento y argumentación legal en diferentes dominios de aplicación de las leyes, asistencia en el razonamiento a cerca de casos de leyes civiles, asistencia en el análisis de decisiones gobernadas por normas “discrecionales”, entre otras.
- **Electrónica.** Identificación y localización de problemas en redes telefónicas con la recomendación de la reparación apropiada y mantenimiento, identificación y localización de problemas en redes eléctricas, asistencia en el diseño y prueba de circuitos electrónicos, como ejemplos.



SISTEMA EXPERTO PARA LA INTERPRETACIÓN MAMOGRÁFICA *Sistemas Expertos*



- **Ingeniería.** Asistencia en el diseño de construcciones, asistencia en la determinación de estrategias de análisis para problemas particulares de análisis estructural, determinación de las causas de eventos anormales en plantas nucleares e instrucción inteligente en la solución de problemas de ingeniería.
- **Ciencias aplicadas.** Instrucción inteligente en la solución de problemas de cálculo, álgebra, ecuaciones diferenciales y otros dominios de las matemáticas, análisis de la estructura del ADN y la asistencia en la solución de problemas de termodinámica, física mecánica, por mencionar algunos.
- **Ciencias militares.** Trabajos de cartografía, interpretaciones tácticas de reportes de sensores inteligentes, ayuda en el diagnóstico de fallas de aviones, detección y clasificación de objetivos a partir de imágenes de sensores y la asistencia en pilotos de aviones de guerra en el control de procedimientos de emergencias de vuelo, entre otros.
- **Agricultura.** Predicción de cosechas, control y diagnóstico de plagas y enfermedades de las plantas, mejoramiento de cultivos, diagnóstico y tratamiento de suelos o para el monitoreo de invernaderos y cultivos en condiciones especiales.
- **Sistemas de computación.** Diagnóstico y depuración de fallas en sistemas de software y hardware, control y monitoreo de sistemas operativos e instrucción inteligente de lenguajes y sistemas de computación.
- **Meteorología.** Pronóstico del tiempo y predicción de tormentas severas.
- **Control de procesos.** Control y monitoreo de procesos en líneas de producción automatizadas en fábricas e industrias, control y monitoreo de procesos en centrales nucleares, control y monitoreo de procesos químicos, el diagnóstico de fallas en procesos automatizados a partir de la interpretación de datos obtenidos desde sensores acoplados al proceso, entre otros.
- **Transacciones bancarias.** Hoy en día, transacciones como depositar o sacar dinero, pueden realizarse en cualquier momento del día, usando los cajeros automáticos que son ejemplos sencillos de SE o bien desde casa comunicándose con el SE mediante la línea telefónica.
- **Control de tráfico.** El control de tráfico es una de las aplicaciones más importantes de los SE, se utilizan para la operación automática de los semáforos y regulan el flujo del tráfico en las calles de una ciudad y en los ferrocarriles.

La aplicación de los SE es adecuada en los siguientes casos:

- 1) Cuando los expertos humanos posean conocimientos complejos en un área estrictamente delimitada, o no existan algoritmos elaborados (o los algoritmos existentes no puedan solucionar algún problema) y no existan teorías completas.
- 2) Cuando existen teorías, pero resulta prácticamente imposible analizar todos los casos teóricamente imaginables mediante algoritmos y en un espacio de tiempo razonable.

Cuando se dan estos casos se hace necesario extraer el conocimiento que el experto humano ha adquirido por medio de la experiencia ya que él encuentra una solución al problema gracias a la información que posee del mismo y a la experiencia adquirida, si esta solución es capaz de repetirse y el planteamiento del problema es claro, entonces, el razonamiento puede ser reproducido por un SE.

2.7.1 Aplicación en el área médica

A continuación se mencionarán diversas aplicaciones de los SE, haciendo énfasis en las aplicaciones en el área médica, debido a que el SE a desarrollar se centra en esta área del conocimiento.

Es por todos conocido el gran esfuerzo hecho por los estudiantes de medicina y los médicos en el ejercicio de su profesión, para memorizar la sintomatología de las múltiples enfermedades posibles, esto asociado a la aparición de nuevas enfermedades. Ocasionalmente, en la práctica médica, se ha visto que un paciente después de ser analizado por dos o tres doctores, puede recibir diagnósticos muy diferentes y en ocasiones



SISTEMA EXPERTO PARA LA INTERPRETACIÓN MAMOGRÁFICA *Sistemas Expertos*



erróneos, comprometiendo la futura recuperación de su salud. A la fecha, podemos hablar de diversos SE que existen para ayudar a diagnosticar enfermedades que eliminan, en parte, este tipo de errores, lo cual demuestra el interés que existe para el desarrollo de este tipo de sistemas en el *área médica*, convirtiéndose así en una de las aplicaciones más importantes de los SE, tal es el caso del sistema MYCIN, cuyo desarrollo significó un parteaguas en la producción de avances significativos en los sistemas de diagnóstico reconocidos mundialmente.

A pesar de que el número de doctores que se apoyan en estos sistemas para emitir un diagnóstico, está en aumento, existe cierto rechazo ya que no se acepta la idea de que la computadora sea utilizada como un vehículo de consulta y por esta razón es que algunos de los SE desarrollados en esta área no han alcanzado la etapa de sistemas de aplicación y sólo han llegado a ser prototipos de investigación o demostración.

Desde la aparición de los SE, en el dominio de la medicina se han desarrollado la mayor cantidad de SE y han abarcado una gran cantidad de subdominios de interés, entre los que destacan los siguientes:

- Diagnóstico y tratamiento de enfermedades.
- Monitoreo de pacientes en unidades de cuidados intensivos.
- Interpretación de exámenes de laboratorio.
- Asistencia en la selección de terapias apropiadas.
- Asistencia en la administración de medicamentos.
- Asistencia en cirugía.
- Interpretación de imágenes.
- Instrucción inteligente en medicina.

2.7.1.1 MYCIN

Fue desarrollado en 1972, por la Universidad de Stanford. Iniciado por Edward Feigenbaum y posteriormente desarrollado por Shortliffe y sus colaboradores [Giarratano & Riley, 2001], utilizando LISP en lugar de una herramienta específica para SE. La función que desempeña es la de ayudar al médico en el diagnóstico y tratamiento de enfermedades infecciosas en la sangre.

El proyecto cumple con lo siguiente:

- Es funcional (lo cual implicó competencia y consistencia).
- Está diseñado para desempeñar el rol de médico y como una utilidad para un médico, a pesar de reemplazar sus propios procesos de razonamiento.
- Contiene gran cantidad de información técnica.
- Interactúa mediante diálogos y da una explicación concreta de su razonamiento para llegar a la solución propuesta.
- Proporciona velocidad, accesibilidad y facilidad de uso.

El sistema diagnostica la causa de la infección (identifica al microorganismo que produce la infección) y emite recomendaciones adecuadas sobre el uso de terapias antimicrobiales para pacientes con alguna enfermedad infecciosa como bacteremia, meningitis o cistitis infecciosa. En general el funcionamiento de MYCIN es como sigue, el sistema al ser consultado por el médico solicita primero datos generales sobre el paciente y una vez conocida esta información, el SE se plantea unas hipótesis que verifica mediante la comprobación de las premisas de las reglas, realiza una búsqueda de enunciados correspondientes en la Base de conocimiento (estos enunciados pueden a su vez estar de nuevo en la parte de consulta de otra regla) y efectúa ciertas preguntas al usuario y con las respuestas que recibe, el MYCIN verifica o rechaza las hipótesis planteadas.

La importancia de MYCIN radica en tres razones principales:

1. Fue el primer sistema en demostrar que la IA tenía aplicación en problemas reales.
2. Fue el primero de muchos sistemas que se fundamentaba en el razonamiento (adquisición automática del conocimiento), lo explican (Módulo de explicación) y concluía como lo haría un experto humano (tutoría inteligente).



SISTEMA EXPERTO PARA LA INTERPRETACIÓN MAMOGRÁFICA *Sistemas Expertos*



3. Mostró la viabilidad de un shell del SE, es decir, que se podía reutilizar el núcleo de un SE para construir otros SE ya que podía verse como dos componentes separados: el sistema básico (formado por la Representación del conocimiento y el Motor de inferencia) y el conocimiento específico del dominio, en este caso, el diagnóstico médico de enfermedades infecciosas.

MYCIN es considerado el primero de una generación de sistemas que razonan, explican su razonamiento y llegan a conclusiones tal como lo haría un humano, en él aparecen elementos importantes separados y aislados: la Base de conocimiento y el Motor de inferencia, esta separación se le llama "sistema vacío" o "concha", mejor conocido como shell. La forma en la que este sistema almacena conocimiento es mediante reglas escritas en LISP. [Castillo & Álvarez, 1989]

En 1973 MYCIN motivó el desarrollo de EMYCIN (Empty MYCIN), el primer shell (o armazón), es decir, al resultado de eliminar el conocimiento médico de MYCIN se le llamó EMYCIN, lo cual quiere decir MYCIN vacío, con el que se construyeron sistemas como PUFF utilizado para el estudio de la función pulmonar y GUIDON para resolver problemas relacionados con el diagnóstico de diversas patologías, entre otros.

MYCIN impulsó el desarrollo de sistemas en otras áreas de conocimiento como PROSPECTOR, en 1976, empleado para hacer exploraciones geológicas para encontrar yacimientos minerales.

2.7.1.2 Otros Sistemas Expertos

Algunos de los SE desarrollados en el área médica han surgido para dar respuesta a preguntas como las siguientes:

- ¿Cómo se puede recoger, organizar, almacenar, poner al día y recuperar la información médica (por ejemplo registros de pacientes) de una forma eficiente y rápida? Por ejemplo, supóngase que un doctor en un centro médico está interesado en conocer información sobre una cierta enfermedad y tres síntomas asociados. Se puede utilizar un SE para buscar en la Base de datos, extraer y organizar la información deseada. Esta información puede resumirse en tablas o en gráficos.
- ¿Cómo se aprende de la experiencia? Es decir, ¿Cómo se actualiza el conocimiento de los doctores en la medicina cuando el número de pacientes que éstos tratan aumenta?
- Supóngase que un paciente presenta un conjunto de síntomas, ¿cómo se decide qué enfermedad es la que más probablemente tiene el paciente?
- ¿Qué modelos pueden utilizarse para describir las relaciones entre los síntomas y las enfermedades?
- Dado que el conjunto de síntomas conocidos no es suficiente para diagnosticar la enfermedad con cierto grado de certeza, ¿qué información adicional debe ser obtenida? (por ejemplo, ¿qué síntomas adicionales deben ser identificados? o ¿qué pruebas médicas deben realizarse?).
- ¿Cuál es el valor de cada una de estas piezas de información? En otras palabras, ¿Cuál es la contribución de cada uno de los síntomas adicionales o pruebas a la toma de decisión?

Algunos sistemas realizados en el área médica son: [González Pérez, 1995] [Castillo & Álvarez, 1989]

- **ABEL.** Diagnostica desórdenes electrolíticos y ácido-básico en pacientes. Éste posee conocimientos a cerca de enfermedades del dominio, así como de los síntomas asociados a ellas. Utiliza un modelo causal a cerca de las posibles enfermedades presentes en el paciente para controlar la interacción con el médico y orientar el proceso de razonamiento diagnóstico. El conocimiento es representado con una red semántica, mediante la cual se especifican las relaciones causa-efecto entre enfermedades y hallazgos.
- **AI/COAG.** Desarrollado en la Escuela de Medicina de la Universidad de Missouri. Brinda ayuda al médico en el diagnóstico de enfermedades de hemostasis, a partir del análisis e interpretación de pruebas de laboratorio clínico para la coagulación de la sangre, evalúa la historia clínica de un paciente con una enfermedad de hemostasis para confirmar el diagnóstico sugerido por las pruebas de laboratorio realizadas.



SISTEMA EXPERTO PARA LA INTERPRETACIÓN MAMOGRÁFICA *Sistemas Expertos*



- **ARAMIS.** Desarrollado en la Universidad de Stanford, provee asistencia al médico en la valoración de nuevos pacientes con enfermedades reumáticas. El conocimiento contenido en este SE consiste en una colección de métodos de análisis estadístico y un conjunto de Bases de datos, las cuales contienen registros detallados de los pacientes. El sistema recupera datos de los pacientes con enfermedades reumáticas, almacenados en las Bases de datos y ejecuta análisis estadístico sobre estos datos, ofreciendo pronósticos acerca de una gran variedad de parámetros, recomienda terapia y emite un análisis del caso por escrito.
- **BABY.** Desarrollado en la Universidad de Illinois. Es un SE para el monitoreo de pacientes en una unidad de cuidados intensivos de recién nacidos. El sistema monitorea todos los datos en línea en la unidad de cuidados intensivos, mantiene el seguimiento del estado clínico de los pacientes y responde preguntas acerca de los pacientes. Contiene el conocimiento de neonatología, la cual utiliza para la interpretación de datos clínicos y demográficos. Utiliza reglas de producción con encadenamiento hacia adelante y el método probabilístico Bayesiano.
- **CASNET (Causal ASociational NETwork).** Fue desarrollado por la Universidad de Rutgers, diagnostica enfermedades del glaucoma. Posee una poderosa Base de datos y por lo tanto cuenta con un alto nivel de conocimientos, por ello es reconocido por varios especialistas. El conocimiento experto del sistema contiene relaciones entre síntomas del paciente, resultados de pruebas realizadas, condiciones anormales internas, enfermedades y tratamientos.
- **CADUCEUS/INTERNIST.** Desarrollado por la Universidad de Carnegie-Mellon a principios de los 70s, diagnostica enfermedades de medicina interna y recomienda planes terapéuticos para el tratamiento de éstas. El conocimiento está representado por una gran red semántica de relaciones entre síntomas y enfermedades. La Base de conocimiento que posee este sistema es considerada como una de las más grandes de todos los SE. En 1982 su conocimiento llegaba a representar el 85% de todo el conocimiento relevante en el dominio de la medicina interna. Muchos expertos han llegado a considerar que posee más conocimientos de medicina interna que cualquier experto humano en el dominio, pudiendo diagnosticar correctamente una gran variedad de casos, por muy complejos que éstos resulten.
- **DAFODILL.** Desarrollado en la facultad de medicina de la Universidad de Stanford. Brinda ayuda a los radiólogos en el diagnóstico de lesiones hepáticas, el sistema interpreta imágenes abdominales obtenidas por la resonancia magnética (IRM) para diagnosticar lesiones en el hígado, utiliza una Base de conocimiento de hallazgos obtenidos desde el IRM y un Motor de inferencia basado en una red de creencias, para generar un diagnóstico diferencial probabilístico de las lesiones hepáticas encontradas.
- **GUIDON.** Desarrollado en la Universidad de Stanford. Este SE instruye a los estudiantes en la selección de terapias adecuadas para pacientes con enfermedades bacterianas, y para llevar a cabo el proceso de instrucción, el SE toma un caso y lo resuelve, luego se lo presenta al estudiante y efectúa un análisis de las respuestas para solucionarlo que proporciona el usuario.
- **HEADMED.** Desarrollado en la Universidad de California, brinda asesoramiento al médico en el diagnóstico y tratamiento de desórdenes psiquiátricos. Este posee las capacidades de un sistema tutorial y de apoyo a la consulta. El conocimiento en este SE incluye el diagnóstico diferencial de los principales desórdenes afectivos, esquizofrenia y otros desórdenes orgánicos del cerebro, así como conocimientos a cerca de desórdenes en el comportamiento, neurosis e ingestión abusiva de sustancias. El conocimiento es representado utilizando reglas, incluyendo factores de certidumbre para representar la incertidumbre presente en el conocimiento.
- **IRIS.** Desarrollado por la Universidad de Rutgers, es un sistema de consulta que motivó el desarrollo de CASNET. Brinda ayuda al médico en el diagnóstico y tratamiento de enfermedades, proporciona e conjunto de diagnósticos posibles, a partir de las manifestaciones clínicas aportadas por el médico. Para representar el conocimiento, este sistema utiliza las redes semánticas, la cual define las relaciones entre los síntomas, enfermedades y tratamiento, la inferencia es controlada por tablas de decisión asociadas a los nodos de la red semántica y son utilizados factores de certidumbre para representar la incertidumbre presente en el conocimiento experto.



SISTEMA EXPERTO PARA LA INTERPRETACIÓN MAMOGRÁFICA *Sistemas Expertos*



- **ONCOCIN.** Desarrollado por la Universidad de Stanford. Suministra ayuda para el tratamiento y manejo de pacientes con cáncer que estén siendo tratados con quimioterapia, realizando una selección de la terapia mediante el procesamiento de la información relacionada con el paciente. El conocimiento en este SE está representado por medio de reglas y encadenamiento mixto.
- **PUFF.** Fue desarrollado por la Universidad de Stanford. Diagnostica la presencia de enfermedades en los pulmones, tomando como punto de partida los resultados obtenidos en pruebas del funcionamiento respiratorio y basa sus decisiones en el conocimiento que éste posee sobre los tipos de resultados producidos en dichas pruebas. El conocimiento experto está representado mediante reglas con encadenamiento hacia atrás.

2.8 Componentes generales de los SE

Los componentes típicos que conforman al SE son: la Base de conocimiento, el Motor de inferencia, la Memoria de trabajo, la Interfaz de usuario y el Módulo de Explicación. El Módulo de aprendizaje es un elemento que puede no estar presente en el SE. Los componentes mencionados anteriormente interactúan entre sí, como se muestra en la Figura 5.

Por medio de la Interfaz de usuario, el usuario del sistema introduce datos sobre el problema, éstos se almacenan de manera temporal en la Memoria de trabajo (hechos) por medio del Motor de inferencia que usa estos datos para encontrar la solución al problema planteado, trabajando con la información contenida en la Base de conocimiento (reglas de producción), una vez que se encuentra la solución, ésta es proporcionada al usuario por medio de la Interfaz de usuario y el Módulo de explicación arma la explicación o justificación de la solución que también se presenta por medio de la interfaz de usuario.

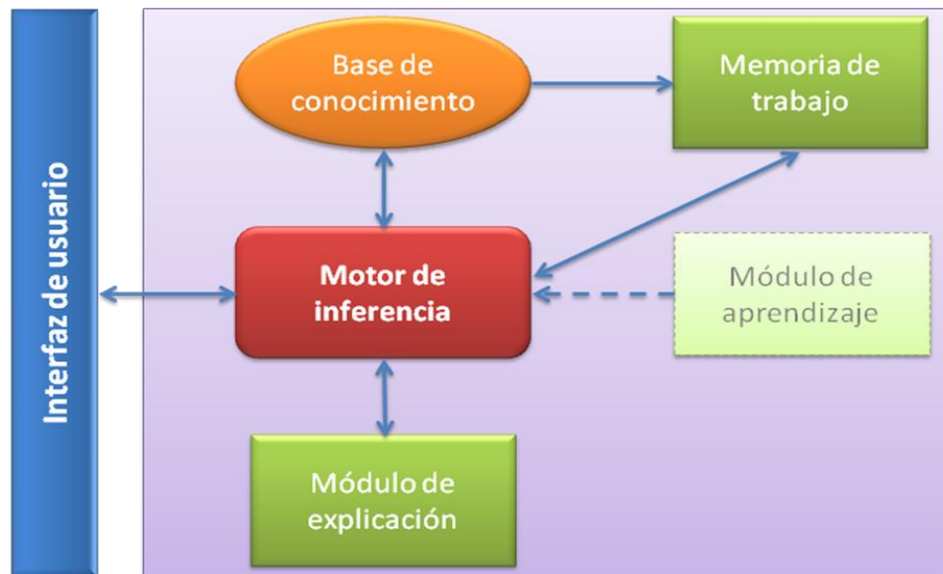


Figura 5 Componentes generales de un SE



SISTEMA EXPERTO PARA LA INTERPRETACIÓN MAMOGRAFICA *Sistemas Expertos*



2.8.1 Base de conocimiento

Es la sección del software en donde se deposita la información que posee el experto humano en cierta área de especialización, contiene la experiencia y el conocimiento del dominio al que pertenece el SE representados por un conjunto de hechos y reglas e información. El conocimiento plasmado en esta parte juega el papel más importante en la calidad y habilidad del sistema, dicho conocimiento es utilizado por el Motor de inferencia para formular hipótesis.

Posee las siguientes características:

- El conocimiento que aquí se incluye es estático.
- La calidad y cantidad determina la bondad del SE en la solución de problemas del dominio.
- Debe ser exhaustiva, es decir, debe incorporar todos los hechos y reglas necesarios para la solución de cualquier problema del dominio.
- Debe ser consistente, sin reglas contradictorias, redundantes o innecesarias.
- El conocimiento será de diferentes tipos, por lo que admitirá diversas formalizaciones para su representación y manipulación.

Algunos autores identifican a la Base de conocimiento con el nombre de Base estática (se puede asociar a una memoria permanente), ya que el conocimiento contenido en ésta no se modifica ni se actualiza durante los procesos de solución de problemas, a menos que el sistema posea un módulo de aprendizaje. [González Pérez, 1995]

Este conocimiento lo constituye la descripción de objetos a tener en cuenta y sus relaciones, el conocimiento está formado por hechos, reglas, conceptos, procedimientos, fórmulas, estadísticas, heurísticas, entre otros.

2.8.2 Motor de inferencia

También es llamado Mecanismo de razonamiento, Mecanismo de inferencia o Estructura de control. Es la parte central del SE. Es un conjunto de rutinas que controlan las decisiones y las preguntas al usuario. Su objetivo es utilizar los datos que se le suministraron y almacenaron en la Memoria de trabajo para recorrer la Base de conocimiento mediante estrategias de control y de esta forma encontrar una solución. [Marcellin Jacques, 1997]

La Base de conocimiento y el Motor de inferencia son componentes que se encuentran estrechamente ligados, ya que el primero contiene la organización del conocimiento sobre la que el Motor de inferencia va a trabajar, entonces se establece que existe una relación entre la organización del SE y su control (el Motor de inferencia es el intérprete del conocimiento almacenado en la Base de conocimiento).

El Motor de inferencia tiene tres elementos principales: [Turban, 1992]

- Intérprete. (Intérprete de reglas en la mayoría de los sistemas) que ejecuta la elección hecha por la estrategia de control para ejecutar las reglas correspondientes de la Base de conocimiento.
- Estrategias de control. Estima los efectos de aplicar determinadas reglas de inferencia por prioridades u otro criterio definido.
- Verificador de la coherencia. Que intenta mantener consistencia de la información en la solución emergente.



SISTEMA EXPERTO PARA LA INTERPRETACIÓN MAMOGRAFICA *Sistemas Expertos*



Para su implantación, se establecen las siguientes condicionales:

- No debe contener información sobre el dominio específico del problema.
- No puede ser completamente independiente del tipo de problema a resolver.
- Las rutinas no deben ser tan especializadas para que puedan ser aplicadas en otro tipo de programas.

Para cumplir su objetivo realiza las siguientes actividades:

- Evaluación del conocimiento que se va a emplear.
- Comprobación de que el conocimiento es aplicable.
- Utilización del encadenamiento de reglas.
- Utilización de información estática (de la Base de conocimiento) y dinámica (los datos de usuario de la Memoria de trabajo).
- Selección de reglas a ejecutar, hasta que se efectúe la revisión todas las que se satisfacen.
- Determinación de las acciones que realizará el SE así como el orden de estas.
- Control de diálogo con él(los) usuario(s).

El Motor de inferencia está definido por las siguientes características: [Sánchez Beltrán, 1990]

- El lenguaje con el que ha sido escrito.
- La velocidad del trabajo.
- Las estrategias de control que utiliza.
- La posibilidad de utilizar metaconocimiento.
- El orden de la lógica que emplea.
- El método de evaluación.

2.8.2.1 Proceso de inferencia

Los procesos de inferencia en los SE basados en reglas se realizan por medio del encadenamiento de reglas. Para llevar a cabo las inferencias el Motor de inferencia hace uso de la información dinámica y el conocimiento estático, la información dinámica se refiere a los datos de entrada aportados inicialmente por el usuario y a la respuesta que éste dé a preguntas hechas por el sistema, en tanto que, el conocimiento estático es el que está contenido en la Base de conocimiento y es usado por el Motor de inferencia para construir hipótesis y llegar a una conclusión dependiendo del problema a resolver.

La información aportada por el usuario es almacenada como hechos en la Memoria de trabajo. Durante el proceso de inferencia, las reglas que contenidas en la Base de conocimiento son comparadas con la información dinámica de la Memoria de trabajo. Cuanto más se logre satisfacer las condiciones de una regla, se realizará un proceso de selección (utilizando criterios heurísticos) para determinar que regla(s) será ejecutada (satisfecha). Una vez ejecutada la regla seleccionada, su acción o consecuente también pasa a formar parte de los hechos almacenados en la Memoria de trabajo. Esto produce la formación de nuevas combinaciones (arreglos) de hechos, para los cuales existen otras reglas en la Base de conocimiento que pudieran satisfacer sus condiciones. De esta forma, el proceso continúa sucesivamente hasta que ya no sea posible satisfacer las condiciones de nuevas reglas.



2.8.2.2 Estrategias de control

El razonamiento del SE debe ser guiado de alguna forma para proporcionar al usuario buenas respuestas que sean válidas y coherentes, esto permite medir que tan correctamente son aplicadas las técnicas de razonamiento sobre el conocimiento almacenado, para lo cual, es necesario un conjunto de estrategias de control que permitan manejar de forma apropiada y eficiente dicho conocimiento, para alcanzar las metas propuestas (Ver Figura 6), dichas estrategias son: [Pajares Martinsanz & Santos Peñas, 2006]

- Estrategias de razonamiento.
- Estrategias de búsquedas.
- Metaconocimiento.

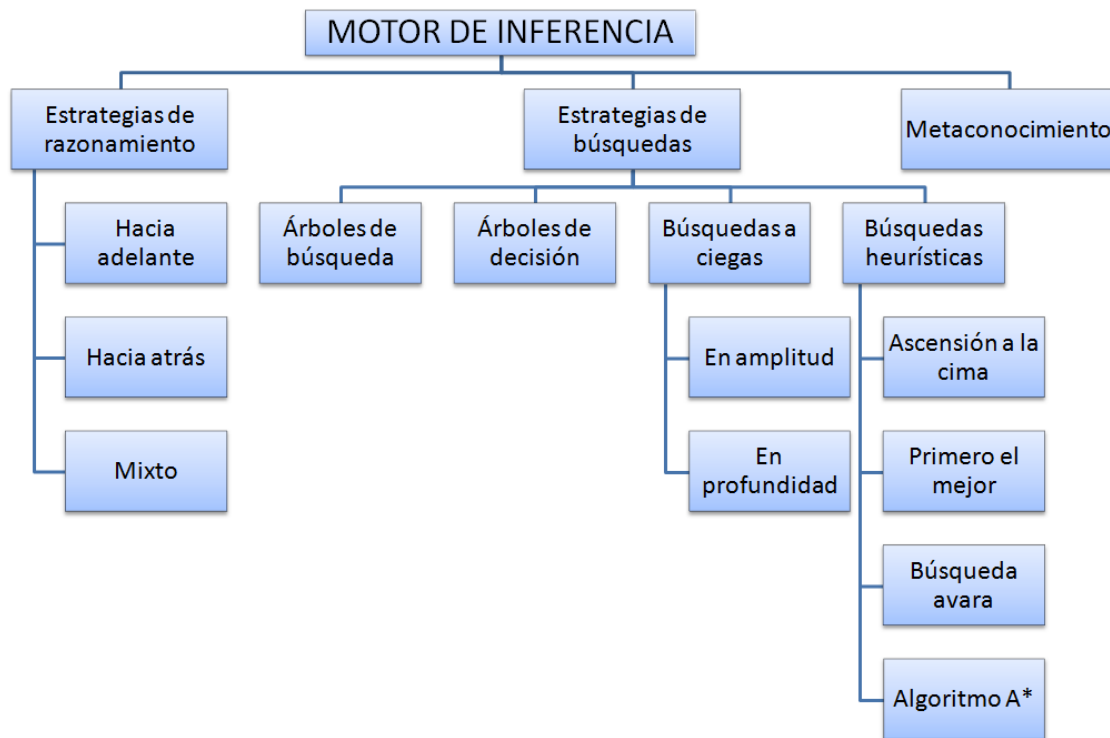


Figura 6 Estrategias de control del Motor de inferencia³

2.8.2.2.1 Estrategias de razonamiento

Para resolver un problema, el SE debe buscar la solución, ésta tarea le corresponde al Motor de inferencia de razonamiento ya que en la mayoría de los casos, el acceso directo a una solución única no es posible.

El éxito de un SE puede estar medido con la correcta aplicación de estas estrategias sobre el conocimiento almacenado, es decir, se verá reflejado en la respuesta del sistema proporcionada de forma eficiente al usuario.

El Motor de inferencia trabaja de tres formas diferentes: encadenamiento hacia adelante, encadenamiento hacia atrás y encadenamiento mixto. [González Pérez, 1995]

³ Figura obtenida de la relación existente del Motor de inferencia con las estrategias.



SISTEMA EXPERTO PARA LA INTERPRETACIÓN MAMOGRAFICA *Sistemas Expertos*



Encadenamiento hacia adelante

El razonamiento por encadenamiento de reglas hacia adelante es un método de búsqueda cuyo punto de partida son los datos de entrada y requiere que todos los datos relevantes estén disponibles en el momento de iniciar las inferencias.

Su función se describe como sigue: se parte de una serie inicial de hechos (o evidencias primarias), entonces el sistema intenta encontrar todas las reglas cuyas condiciones (antecedentes) se igualan con alguna combinación de la colección de hechos, en otras palabras, se usa el conocimiento contenido en las reglas para conocer la conclusión más viable hacia la que esas evidencias apuntan. En ocasiones, por medio de este proceso se alcanzará una meta o bien se utilizan las conclusiones a las que se lleguen para generar nuevos hechos cuya configuración satisfaga nuevas reglas. Esta metodología ha sido utilizada por SE en el área de análisis de datos, diseño, diagnóstico y formación de conceptos.

Encadenamiento hacia atrás

El razonamiento por encadenamiento hacia atrás es el método de búsqueda cuyo razonamiento es dirigido por las metas o hipótesis y no requiere que toda la información importante esté disponible al iniciar las inferencias, pues los datos que no hayan sido introducidos inicialmente (o inferidos por el SE) serán preguntados al usuario en el momento en el que sean necesarios.

El funcionamiento de un sistema con encadenamiento hacia atrás toma como punto de partida, la meta que se desea alcanzar, el sistema intenta encontrar todas las reglas cuyas conclusiones satisfacen la meta, es decir, el conocimiento contenido en las reglas es el que muestra que hechos o evidencias deben buscarse. Algunos de los hechos que forman los antecedentes de las reglas satisfechas pueden ser conocidos, debido a que fueron introducidos como datos iniciales, en tanto que otros pueden conocerse una vez que sean preguntados al usuario. Sin embargo, otros hechos pudieran no ser hechos iniciales y satisfacer alguna nueva submeta, obligando a que se efectúe el proceso de encadenamiento hacia atrás. La búsqueda de las evidencias cesa cuando se ha probado la hipótesis, no existan más hechos que investigar y todas las metas principales sean exploradas. Esta metodología se utiliza en un SE de planificación

Encadenamiento mixto

También es llamado encadenamiento oportunístico, combinado, mixto o técnica de doble búsqueda. Resulta útil, en los casos en los cuales ciertos aspectos de un problema son mejor tratados con encadenamiento hacia atrás y otros aspectos con encadenamiento hacia adelante ya que permite la unificación de las ventajas de ambos tipos de razonamiento, en casos cuando el espacio de búsqueda es grande y son muchas las posibles inferencias o cuando más de una vía de razonamiento pueda establecerse.

El razonamiento oportunístico es una combinación de los razonamientos por encadenamiento de reglas hacia adelante (direccionado por los datos) y encadenamiento hacia atrás (direccionado por las metas). En este tipo de razonamiento el procesamiento general es hacia atrás, pero una vez obtenidas las evidencias, éstas son utilizadas en un procesamiento hacia adelante. Esta metodología de búsqueda permite a un sistema realizar nuevas inferencias cuando nuevos datos de entrada han sido proporcionados y efectúe preguntas a cerca de datos relevantes cuando nuevas metas han sido direccionadas.

2.8.2.2.2 Estrategias de búsquedas

Para encontrar la solución más óptima de un problema, el SE debe efectuar una búsqueda, pero en la mayoría de los casos la obtención de una solución única no es posible, es por ello que se puede realizar diferentes estrategias de búsqueda. Como ejemplos se encuentran: Búsqueda a ciegas, Búsquedas heurísticas, Árboles de búsqueda y Árboles de decisión. [Pajares Martinsanz & Santos Peñas, 2006]



SISTEMA EXPERTO PARA LA INTERPRETACIÓN MAMOGRAFICA

Sistemas Expertos



Árboles de búsqueda

Los árboles de búsqueda son métodos gráficos para representar espacios de búsqueda. Para visualizar los elementos del conocimiento en una Base de conocimiento se puede hacer un dibujo con arcos y nodos como en las redes semánticas. Cada nodo representa a un hecho, una regla u otro elemento de la Base de conocimiento. Los nodos están conectados mediante arcos para mostrar las relaciones. Al nodo inicial se le llama "nodo raíz" y a través de él, se baja por los arcos hacia los descendientes o hijos, los nodos finales carecen de hijos. La estructura básica de un árbol de búsqueda, es jerárquica y similar al organigrama de una organización. Ocasionalmente los problemas que trata la IA tienen un espacio de búsqueda muy grande por lo que realizar un árbol de búsqueda que describa el problema, resulta una labor difícil, sin embargo ayuda a determinar como el Motor de inferencia recorre la Base de conocimiento.

Árboles de decisión

Un árbol de decisión tiene un nodo raíz, nodos intermedios, arcos de conexión y objetivos. Con frecuencia se utiliza el término de árbol de búsqueda y árbol de decisiones de manera indistinta, sin embargo, este último, cada nodo representa un punto de decisión, se puede considerar cada nodo como una pregunta con una o más respuestas. Una de las formas más simples de un árbol de decisión es aquel que tiene dos caminos para cada nodo: sí y no, o verdadero o falso. Existen muchas aplicaciones que se ajustan de manera natural a esta disposición.

Búsquedas a ciegas

En este tipo de búsqueda no se cuenta con información a priori que la dirija en su secuencia de acciones para la obtención del objetivo final, realiza una búsqueda exhaustiva en el espacio de estados. El problema de búsqueda se reduce a recorrer una estructura de datos de forma sistemática hasta llegar al objetivo y se hayan examinado todas las posibilidades. La principal desventaja de estas estrategias de búsqueda reside en que no haya ninguna información relativa a la dirección para orientar la búsqueda.

Los algoritmos que se pueden implementar bajo la concepción de la búsqueda a ciegas se denominan algoritmos de generación y prueba. En su implementación más básica, los pasos para ejecutarlos son:

1. Generar una posible solución, ya sea un camino a través del espacio de búsqueda.
2. Probar si ese nuevo camino generado es una solución estableciendo una comparación con un conjunto de estados objetivo.
3. Si es la solución, terminar. En otro caso, volver al paso 1.

A continuación se describirán brevemente las estrategias de búsqueda en amplitud y búsqueda en profundidad señalando su definición, ventajas, desventajas y complejidad.

- Búsqueda en amplitud

También se denomina anchura prioritaria, el cual es un tipo de búsqueda en donde se examinan los valores de los nodos metódica y controladamente con la finalidad de encontrar la solución por niveles, la idea principal es generar varias trayectorias de una misma longitud antes de crear una trayectoria más larga, se examinan los nodos de derecha a izquierda situados a un paso del estado inicial (o del nivel superior inmediato), y después se examinan los nodos ubicados dos niveles más allá, y así sucesivamente, hasta que se han considerado todos los nodos del árbol o se ha encontrado la solución. En un método de búsqueda que garantiza encontrar la solución si es que ésta existe, pero no es óptimo, ya que no se busca la mejor solución sino la primera que satisfaga el objetivo. La complejidad del tiempo y espacio crece exponencialmente por lo que se recomienda usarla en problemas de pequeñas dimensiones.



SISTEMA EXPERTO PARA LA INTERPRETACIÓN MAMOGRÁFICA *Sistemas Expertos*



- **Búsqueda en profundidad**

En esta búsqueda sigue las ramas del árbol hacia abajo, hasta el nivel más inferior que pueda, hasta que encuentra la solución o un nodo sin hijos. Si hay una solución, este algoritmo la encontrará, aunque en términos de tiempo resulta ineficiente pues el algoritmo puede recorrer un camino demasiado largo que no lleve a ninguna solución o se meta en ciclos infinitos, puede ser efectiva para problemas de dimensiones pequeñas, sin embargo para problemas demás complejos esta búsqueda no guiada es impracticable, una variante de este tipo de búsqueda como la búsqueda por profundización iterativa es una estrategia óptima y completa, resulta un método idóneo para problemas con espacios de búsqueda de dimensión grande. La complejidad de espacio se reduce respecto a la búsqueda en amplitud ya que sólo es necesario almacenar el camino construido hasta el momento, la eficiencia del método aumenta cuando existen múltiples soluciones posibles.

Búsquedas heurísticas

A diferencia de las búsquedas normales, en las búsquedas heurísticas existe un conocimiento previo sobre el problema específico como el costo o la distancia al nodo final, lo cual le ayuda a tratar de encontrar la mejor solución a un problema complejo en el menor tiempo y espacio y/o poder detectar estancamientos en la búsqueda, dicho en otras palabras, en una búsqueda heurística, se aplican las reglas heurísticas para determinar a lo largo de un recorrido, cual es el trayecto que aporta la mayor probabilidad de conducir a una solución, limitando el tiempo y el espacio. Para lograr lo anterior, los métodos heurísticos utilizan funciones de evaluación heurísticas f que calculan o evalúan el valor de cada nodo particular en el árbol de búsqueda, dando una idea que tan cercano o lejano se encuentra el nodo objetivo, y hacen corresponder a cada estado del espacio de búsqueda un valor numérico c_j .

$$f(\text{estado}_j) = c_j$$

Con estos valores se puede estimar el costo que tiene recorrer las ramificaciones, y guiando la búsqueda hacia aquellos caminos que impliquen el menor costo. El valor máximo o mínimo de las funciones heurísticas debe ser alcanzado en un estado objetivo (meta).

Los principales métodos de búsqueda heurística son: [Pajares Martinsanz, y otros, 2006]

- **Ascensión a la cima o gradiente.**

Incorpora información resultante de la comparación de un nuevo camino que puede ser la solución con un conjunto de caminos objetivo, es decir, de la evaluación del estado actual para mejorar la generación de un nuevo camino candidato. Al evaluar un estado mediante la función prueba se le asocia una medida o estimación de su distancia al estado objetivo, que servirá para orientar la generación del siguiente, en el caso del método del gradiente, la función de evaluación es un costo que se intenta minimizar, la iteración se actualizará en la dirección de los valores decrecientes. Uno de sus principales inconvenientes es que puede caer en extremos, ya que siempre se está avanzando en la dirección del menor costo y por ello se puede seguir un camino que alcance una buena solución pero dejando de lado la solución óptima que probablemente se encontraba cerca.

- **Primero el mejor.**

También llamada “búsqueda preferentemente por lo mejor”, es resultado de la combinación de los métodos de búsqueda en amplitud y en profundidad. La característica que diferencia a este método de los otros es que en este caso se utiliza la información de las funciones de evaluación para ordenar los nodos de la cola, por lo que se elige como primer nodo el que represente el costo mínimo o haya resultado mejor evaluado, sin tomar en cuenta la posición en el árbol o grafo. Por medio de este método se encuentra un mínimo global, evita caer en extremos locales. Presenta una desventaja el hecho de que en el algoritmo no se considera el camino recorrido hasta el momento, lo que la solución dada podría no ser eficiente.

- **Búsqueda avara.**

También llamada “greedy search”, esta estrategia se deriva del método “primero el mejor”, elimina la desventaja que presenta este último, intenta minimizar el costo total para alcanzar la meta. Siguiendo esta estrategia se expandirá el nodo que se suponga más cercano al nodo final, minimizando así el



SISTEMA EXPERTO PARA LA INTERPRETACIÓN MAMOGRÁFICA

Sistemas Expertos



recorrido. Es un método eficiente ya que suele encontrar la solución con rapidez, sin embargo, en ocasiones esta solución no es siempre óptima por que considera en todo momento la solución inmediata “más barata” sin tener una visión global, además puede recorrer una ruta infinita y se estancaría en ella sin probar otros caminos alternativos.

- Algoritmo A*.

Combina las ventajas del método de búsqueda avara con el método de costo uniforme (que es una variación del método de búsqueda en amplitud en donde se busca el camino de menor costo y así minimizar la ruta), encuentra una solución siempre y cuando ésta exista, incluso para grafos infinitos, encuentra un extremo total y expande el menor número de nodos. Este algoritmo es el mejor de los algoritmos de resolución de problemas, sin embargo, puede tardar en hacer la selección entre los caminos casi iguales por lo que a veces puede requerir más tiempo que los otros.

2.8.2.2.3 Metaconocimiento

Teóricamente es el conocimiento acerca del propio conocimiento, sin embargo, en este entorno, es el conocimiento acerca de las capacidades del razonamiento de los SE. Su función es vigilar constantemente el comportamiento del SE, se activa cuando encuentra determinadas condiciones en la Base de conocimiento en donde los procedimientos convencionales responden a llamados específicos, son identificados y se ponen en acción, en tanto que los procedimientos activados por el metaconocimiento lo hacen por medio de la asociación existente de los objetos que maneja el sistema.

Es necesario aclarar que, a pesar de que algunos autores refieren que el metaconocimiento está contenido en la Base de conocimiento, no es así, forma parte del Motor de inferencia.

Además, contiene el conocimiento que será adquirido sobre casos particulares o excepciones y diferentes estrategias de resolución con sus condiciones de aplicación, es posible añadir extractos de espacios al espacio de búsqueda para así ayudar a decidir qué hacer enseguida. Cuando se habla de metaconocimiento se puede pensar en las estrategias y elementos tácticos, que son elegidos entre varios métodos potenciales para decidir que hacer en el siguiente nivel del problema, por esa razón sirve para asegurar que el conocimiento se ha aplicado correctamente.

El metaconocimiento puede presentar cuatro formas: [Sánchez Beltrán, 1990]

- Fijo y ciego, estando embebido en el propio Motor de Inferencia. Por ejemplo: búsqueda en profundidad o el encadenamiento hacia atrás.
- Seleccionable antes de la ejecución o demostración del programa, es decir, realiza un control estratégico, sea ciego o no.
- Seleccionable durante la ejecución o demostración, un control de tipo táctico.
- Externo, para lo cual el SE permanece en modo iterativo durante todo el proceso de comunicación con el usuario.



SISTEMA EXPERTO PARA LA INTERPRETACIÓN MAMOGRAFICA *Sistemas Expertos*



Una condición importante que se debe cumplir cuando un Motor de inferencia usa metaconocimiento es que la Base de conocimiento debe dividir el conocimiento en clases o grupos.

2.8.3 Módulo de explicación

Se encarga de explicar y justificar las conclusiones o acciones del SE, es decir, explica el proceso seguido por el Motor de inferencia (proceso de inferencias) en el razonamiento, lo cual es muy importante puesto que la credibilidad de un SE depende de su habilidad para explicar su propio proceso de razonamiento.

Este componente aporta ayuda considerable al Ingeniero de conocimiento para refinar la gestión del Motor de inferencia, es de igual manera útil para el experto humano, en la construcción y verificación de la coherencia de la Base de conocimiento y explica al usuario cómo ha deducido tal hecho y por qué plantea tal cuestión, esto permite al usuario seguir muy de cerca el proceso de inferencias llevado a cabo durante la solución de un problema, por ello el Ingeniero de conocimiento puede utilizarlo para detectar errores y el usuario del sistema se beneficia de la transparencia del mismo.

Las explicaciones ofrecidas al usuario consisten en una identificación de los pasos en el proceso de razonamiento (rastreado hacia atrás el camino de la solución) y de una justificación de cada uno de ellos y responden a la formulación de las siguientes preguntas:

- ¿Cómo una hipótesis o conclusión fue alcanzada?
Para poder responder a esta pregunta, el módulo de explicaciones muestra al usuario, de forma comprensible, la cadena de las reglas disparadas durante el proceso de inferencias. De esta manera, el usuario puede apreciar la línea de razonamiento seguida por el sistema para llegar a una conclusión.
- ¿Por qué cierta información es requerida?
La respuesta a esta pregunta consiste en explicar al usuario el papel que juega la información solicitada al dar un paso necesario dentro del proceso de razonamiento.
- ¿Por qué cierta hipótesis o conclusión fue rechazada?
El módulo de explicaciones debe poder exponer la razón por la cual los datos de entrada no producen una respuesta final.
- ¿Cuál es el plan para llegar a una solución?
Por ejemplo, cómo se puede determinar lo que queda antes de que se establezca un diagnóstico final.

En la implementación de un Módulo de explicación, es necesario tomar en cuenta lo siguiente:

- Debe presentar al usuario la información de manera ordenada e inteligible, de tal forma que sea aceptable por parte del usuario.
- Es recomendable que se pueda elegir el nivel del contenido de la explicación, que dependerá de la identificación del nivel de conocimientos del usuario y del entendimiento de cómo adaptar la explicación para acoplarla correctamente. La profundidad de esta explicación debe ser suficiente para satisfacer a un usuario en cuanto a la solidez del conocimiento y al proceso de razonamiento.
- Es difícil lograr un buen componente explicativo.
- Se puede representar de forma gráfica el progreso de la consulta al sistema.
- Las soluciones descubiertas por los expertos humanos deben poder ser repetibles tanto por el ingeniero del conocimiento en la fase de comprobación como por el usuario. La exactitud de los resultados sólo podrá ser controlada por los expertos.



SISTEMA EXPERTO PARA LA INTERPRETACIÓN MAMOGRÁFICA *Sistemas Expertos*



2.8.4 Memoria de trabajo

También llamada Base dinámica o Espacio de trabajo. Es un espacio en donde se almacenan las conclusiones de las reglas disparadas en el proceso de inferencia (resultados), hipótesis, decisiones intermedias e información que el usuario da al sistema (datos iniciales y respuestas a preguntas formuladas), dicho en otras palabras, acumula temporalmente información sobre el estado en el que se encuentra el problema en un momento dado por lo que es de carácter transitorio (cambiante). El uso de este módulo es especialmente popular cuando un grupo de varios expertos humanos trabajan en la solución de un problema.

El sistema empareja la información contenida en la Memoria de trabajo con el conocimiento disponible en la Base de conocimiento para deducir nuevos hechos.

Un **hecho** es una parte del conocimiento que indica algo acerca de un elemento del dominio. Representan un estado del ser estático asociado con el objeto; no dicen nada acerca de las actividades dinámicas asociadas con el objeto.

La Memoria de trabajo registra hipótesis y decisiones inmediatas. Puede registrar tres tipos de decisiones: 1) plan, cómo es que se resolverá el problema, 2) agenda, acciones potenciales esperando su ejecución. 3) solución, hipótesis candidatas y cursos alternativos de acción que el sistema ha generado al momento. Por ejemplo, cuando un automóvil presenta alguna falla, se introducen los síntomas de la falla en la computadora, estos se almacenan en la Memoria de trabajo, como resultado de la introducción de datos se desarrolla una hipótesis intermedia registrada en la Memoria de trabajo, entonces la computadora sugiere al usuario que se haga una revisión adicional y pregunta el reporte sobre los resultados. Otra vez, esta información es registrada en la Memoria de trabajo.

Es importante considerar que cuando termina el proceso de solución de un problema dado, se debe eliminar el contenido de la Memoria de trabajo, para que dicha memoria esté "limpia" antes de iniciar la solución de otro planteamiento.

2.8.5 Interfaz de usuario

También denominado Sistema de consulta. Representa el vínculo de diálogo (comunicación) que existe entre el SE y el usuario. Permite captar la información del exterior y la introduce en la Memoria de trabajo. Debe mostrar y obtener información de una manera fácil y agradable. En el desarrollo de un SE, es necesario poner especial atención en la construcción de una interfaz ya que a la larga, los usuarios son los que van a determinar si el sistema les resulta útil o no y muchas veces se dejan llevar por la impresión que les causan los elementos de software utilizados y se deja de lado la calidad de los sistemas que es lo que verdaderamente importa.

Sus objetivos son:

- Aceptar y reconocer un lenguaje de comandos en forma cuasi-natural, traduciéndolos en instrucciones y datos para que el SE trabaje.
- Comunicar al Motor de inferencia las consultas del usuario.
- Comunicar al usuario los resultados de cada consulta.

La interfaz de un SE debe facilitar la comunicación con un usuario, se debe poder establecer un diálogo en un lenguaje común sobre el problema, a semejanza de una conversación entre seres humanos y pone al alcance del usuario dos elementos principales: [Flores Sosa & Gómez García, 2004]

1. Componente activo que determina el resultado de la interacción con el usuario.
2. Componente pasivo que justifica el resultado, es decir, es el componente explicativo.



SISTEMA EXPERTO PARA LA INTERPRETACIÓN MAMOGRÁFICA *Sistemas Expertos*



Funcionamiento general.

Se plantean al usuario una serie de preguntas generales para alcanzar una determinación aproximada del contexto y dependiendo del método de procesamiento fijado para estas respuestas en la Base de conocimiento, se produce un diálogo con el usuario cuya finalidad es aceptar o rechazar hipótesis, orientando las respuestas subsiguientes hacia la solución del problema dado.

Cuando se establece este diálogo el SE se comporta como un experto humano y plantea preguntas precisas, informa sobre resultados intermedios, determina el resultado y además lo justifica y explica. Cuando termina el diálogo, el SE puede o no suministrar el historial completo de la consulta, éste puede mostrar las entradas del usuario, comparar el resultado con todos los resultados posibles, mostrar las reglas que se activaron durante el proceso de inferencia o bien mostrar las reglas que no se activaron.

Para que el SE alcance el óptimo resultado estará sujeto a la calidad de la respuesta del usuario, el SE no puede determinar la consistencia de las diferentes respuestas del usuario, en especial cuando el usuario intenta corregir algún dato introducido erróneamente, por lo que la responsabilidad de la consistencia de las respuestas proporcionadas al SE recae en el usuario.

Entonces, al pensar en el diseño de una Interfaz de usuario debemos cuestionarnos lo siguiente: ¿Cómo deberá responder el usuario a las preguntas? ¿Cómo se presentarán las respuestas a las preguntas planteadas? ¿Si se representará información gráfica?

Para cumplir con los requerimientos de una interfaz gráfica para un SE se deben contemplar los siguientes puntos:

- La habilidad de hacer preguntas.
- El usuario pueda aprender a utilizarla con rapidez.
- Evitar la entrada de datos erróneos.
- La presentación de los resultados sea en forma clara (para el usuario).
- Las preguntas y explicaciones deben ser comprensibles.
- El usuario deba poder hacer uso del sistema por medio de menús o gráficos, que faciliten su uso.
- Deba poder mostrar la forma en la que se extrajeron las conclusiones.

2.8.6 Módulo de aprendizaje

La función de éste módulo es contribuir en la construcción y el razonamiento de la Base de conocimiento, el aprendizaje es mecánico ya que el sistema genera nuevos conocimientos en forma automática y se basa en generalizaciones deducidas de experiencias anteriores, si este componente se agrega al SE, el sistema tiene la capacidad de adquirir nuevos conocimientos y depurar el conocimiento existente en su Base de conocimiento. Lo anterior constituye una de las formas de modificar el conocimiento en un SE durante el proceso de actualización de conocimientos [Rolston, 1991], el sistema aprende de forma representativa de la experiencia e idealmente el sistema se actualiza. Este proceso de aprendizaje mecánico es un tema de mucha investigación puesto que la habilidad de aprender es un elemento importante de la inteligencia cuya inclusión mejoraría las capacidades de un SE.

Éste módulo no es un componente que se encuentra con mucha frecuencia y pocos sistemas cuentan con las habilidades que expone.

El proceso de aprendizaje de un SE comprende la Adquisición de conocimiento, así como su aplicación y el desarrollo de experiencias con la modificación del comportamiento, en el ser humano el aprendizaje produce un cambio en el interior del organismo pero como regla general podemos decir que el aprendizaje implica cambios estables, producidos por la experiencia que es el factor más importante aunque no el único que interviene en el aprendizaje. En este punto la definición de **aprendizaje** queda como sigue: *“El aprendizaje es un cambio relativamente estable, sin especificar, dentro del organismo que posibilita un cambio en la conducta; se debe a la experiencia y no puede explicarse en términos reflejos, instintos, maduración o influencia de la fatiga, de las enfermedades o drogas”.* [Marcellin Jacques, 1997]



SISTEMA EXPERTO PARA LA INTERPRETACIÓN MAMOGRÁFICA *Sistemas Expertos*



El aprendizaje está constituido por tres aspectos fundamentales: [Marcellin Jacques, 1997]

- El desarrollo y análisis de programas de cómputo, incrementa la eficiencia de ejecución de un conjunto de tareas.
- La simulación de los procesos de aprendizaje humano.
- El análisis teórico sobre los métodos posibles de aprendizaje y de los algoritmos empleados.

Los sistemas computacionales que aprenden, se clasifican en función de:

- La estrategia de aprendizaje empleada.
- La Representación del conocimiento o de la experiencia adquirida.
- El campo de la aplicación de que se trata.

De acuerdo a la estrategia de aprendizaje empleada, existen diferentes tipos de aprendizaje relacionados con la cantidad de inferencia ejecutada usando la información disponible, entre los que se encuentran:

- Aprendizaje por memorización, se refiere a la adquisición directa de conocimientos.
- Aprendizaje por instrucción o algorítmica, está relacionado con la transformación de la información a una representación interna y luego interpretarla dependiendo de la utilización que se requiera.
- Aprendizaje por analogía, se refiere a la aplicación de los conocimientos ya utilizados, en otros casos similares, creando nuevos conocimientos y adquiriendo experiencia.
- Aprendizaje a partir de ejemplos y contratiempos, se refiere a la capacidad de deducir conceptos a partir de generalizaciones o simplificaciones y otras acciones.
- Aprendizaje a partir de ensayo y prueba, se basa en la observación realizada por el programa; ésta puede ser pasiva o activa, la primera si sólo realiza clasificaciones y la segunda si existe una retroalimentación de las observaciones hechas y una reformulación de hipótesis. Este tipo de aprendizaje es el más importante y es en donde no se efectúa la mayor cantidad de inferencia.

Los conocimientos adquiridos por el programa pueden ser, por ejemplo:

- Reglas que rigen el comportamiento.
- Reglas descriptivas de objetos físicos.
- Reglas heurísticas para la resolución de problemas.
- Reglas de clasificación.

La representación de estos conocimientos generalmente es por medio de:

- Reglas de producción.
- Árboles de decisión.
- Gramáticas formales.
- Gráficas y redes de estereotipos y esquemas de jerarquías o taxonomías de objetos.





SISTEMA EXPERTO PARA LA INTERPRETACIÓN MAMOGRAFICA Sistemas Expertos



2.9 Roles involucrados en los SE

A lo largo del desarrollo de un SE existen diferentes roles involucrados. A continuación se describe cada uno de ellos:

Rol	Descripción
 <p data-bbox="267 730 414 777">Ingeniero de conocimiento</p>	<p data-bbox="505 531 1404 619">El Ingeniero de conocimiento (IC) es un especialista informático cuya responsabilidad es asegurarse de que la ejecución del SE se realice de tal manera que cumpla los objetivos y satisfaga a los usuarios.</p> <p data-bbox="505 653 1144 682">Es el encargado de realizar las siguientes actividades:</p> <ul data-bbox="553 716 1404 863" style="list-style-type: none"><li data-bbox="553 716 1404 829">▪ Extraer el conocimiento del experto humano por medio del planteamiento de preguntas o algún otro método definido para la Adquisición del conocimiento y lo plasma en una Base de conocimiento.<li data-bbox="553 835 1404 863">▪ Implementar correctamente el conocimiento del experto humano.
 <p data-bbox="251 1444 430 1470">Experto humano</p>	<p data-bbox="505 884 1404 1031">Un experto humano es una persona que tiene experiencia desarrollada en cierta área, es decir, tiene conocimientos o habilidades específicos que la mayoría no conoce o no dispone y puede resolver problemas que la mayoría no podría resolver o los resuelve con mucha mayor eficiencia. Cuando se habla de un experto humano, éste debe tener la siguientes características:</p> <ul data-bbox="553 1064 1404 1249" style="list-style-type: none"><li data-bbox="553 1064 1404 1092">▪ Tener conocimientos profundos en su materia.<li data-bbox="553 1098 1404 1150">▪ Tener una amplia experiencia en la solución de problemas referentes a dicha materia.<li data-bbox="553 1157 1404 1209">▪ Llegar a conclusiones, a través de recomendaciones, utilizando el conocimiento que poseen o que hayan adquirido.<li data-bbox="553 1215 1404 1243">▪ Poder explicar dichas conclusiones y su comportamiento. <p data-bbox="505 1276 1404 1396">Con frecuencia, el experto humano usa reglas aplicadas casi subconscientemente y el conocimiento que posee no está estructurado y ubicado explícitamente, por ello es indispensable que el rol del experto humano lleve a cabo actividades como las siguientes:</p> <ul data-bbox="553 1430 1404 1732" style="list-style-type: none"><li data-bbox="553 1430 1404 1549">▪ Suministrar (informar, resolver problemas y proporcionar una explicación) a los ingenieros del conocimiento, una Base de conocimiento ordenada y estructurada y poner sus conocimientos especializados (dominio del conocimiento) a disposición del SE.<li data-bbox="553 1556 1404 1675">▪ Verificar constantemente si sus conocimientos han sido plasmados correctamente por el Ingeniero de conocimiento y de esta manera se convierte en el responsable de la exactitud del conocimiento, que será plasmado en el SE.<li data-bbox="553 1682 1404 1732">▪ Tener conocimientos sobre la problemática que existe alrededor del procesamiento de datos, lo cual facilitará el trabajo. <p data-bbox="505 1766 1404 1885">La experiencia humana es extensa y se refiere concentración de conocimiento especializado adquirido por entrenamiento, lectura y experiencia. Los siguientes tipos de conocimiento son ejemplos de lo que involucra la experiencia: [Turban, 1992]</p>



**SISTEMA EXPERTO PARA LA INTERPRETACIÓN
MAMOGRAFICA**
Sistemas Expertos




Rol	Descripción
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Reglas sobre el área del problema. ▪ Teorías sobre el área del problema. ▪ Reglas rígidas y procedimientos con respecto al área general del problema. ▪ Reglas (heurísticas) de lo que se hace en un problema dado. ▪ Estrategias globales para la resolución de este tipo de problemas. ▪ Metaconocimiento (conocimiento acerca del conocimiento). <p>Este tipo de conocimiento habilita a los expertos humanos para tomar las mejores y más rápidas decisiones que los no expertos, en la solución de problemas.</p> <p>Típicamente, la experiencia humana incluye una serie de acciones como:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Reconocimiento y formulación del problema. ▪ Solución del problema rápida y propiamente. ▪ Explicación de la solución. ▪ Aprendizaje de la experiencia. ▪ Reestructuración del conocimiento. ▪ Ruptura de las reglas. ▪ Determinación de la relevancia.
 Usuario del sistema	<p>El usuario es la persona que aporta los hechos o información en la ejecución del SE, así como deseos e ideas durante el desarrollo del SE, determinando con ello el escenario en el que debe aplicarse.</p> <p>Realiza tareas específicas como:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Ser el responsable de proporcionar respuestas consistentes al SE. ▪ Ser el encargado de utilizar el SE. <p>Los usuarios pueden no estar familiarizados con las computadoras y carecer de conocimientos profundos en el dominio del problema. Algunos, sin embargo, tienen el interés en hacer lo mejor y posiblemente tomar decisiones menos costosas y rápidas utilizando los SE. Sin embargo, es importante que el usuario conozca el dominio del problema.</p> <p>Un SE tiene diferentes tipos de usuarios como: [Turban, 1992]</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Cliente. Usuario que aplica la habilidad del SE a tareas específicas reales. En cada caso el SE actúa como un consultor o asesor. ▪ Estudiante. Busca desarrollar habilidades relacionadas con el dominio del problema. En este caso el SE actúa como un instructor. ▪ Constructor o tutor. Que quiere mejorar o aumentar la Base de conocimiento. En este caso el sistema actúa como un socio. ▪ Experto. En este caso el SE actúa como un colega. ▪ Verificador. En este caso el usuario intenta comprobar la validez del desempeño del SE. <p>El experto humano en el dominio y el Ingeniero de conocimiento pueden anticiparse a las necesidades y limitaciones de los usuarios cuando diseñen el SE.</p>

Tabla 7 Roles involucrados en el desarrollo de un SE



2.9.1 Equipo de desarrollo de un SE y su interacción

El equipo de desarrollo comprende un experto humano y un Ingeniero de conocimiento. El **Ingeniero de conocimiento** establece un diálogo con el **experto humano**, con el fin de obtener su conocimiento, en este punto cobra importancia la forma estructurada de pensar del experto humano la cual requiere que los expertos humanos repiensen, reorganicen y reestructuren sus conocimientos, como resultado de ello, el experto humano se convierte en un mejor conocedor de su propio campo de especialidad. [Giarratano & Riley, 2001]

El diálogo que establece el experto humano con el Ingeniero de conocimiento sin duda, exige un esfuerzo por parte de ambos, ya que el experto humano tiene que hacer un esfuerzo por ordenar y clarificar el conocimiento que posee para tomar decisiones y proporcionar una solución a los problemas y por su parte el Ingeniero de conocimiento tiene que plasmar en forma de reglas de producción, dicho conocimiento, lo cual quiere decir que el conocimiento del experto humano es codificado explícitamente en la Base de conocimiento del SE, entonces el experto humano evalúa al SE y ofrece una crítica al Ingeniero de conocimiento. Este proceso se repite hasta que el experto humano juzga la actuación del sistema como satisfactoria. (Ver Figura 7)

El Ingeniero de conocimiento y el experto humano trabajan estrechamente durante el desarrollo del SE. En primer lugar se debe establecer el tipo de problema(s) que el sistema debe resolver, lo cual se define en la fase A del desarrollo, la cual se explicará más adelante, ahí se delimita el dominio del sistema y es entonces cuando se alimenta gradualmente al SE con los conocimientos del experto humano, éste debe verificar constantemente si sus conocimientos han sido plasmados correctamente por el Ingeniero de conocimiento, por lo que éste último es el responsable de una implementación correcta, pero no de la exactitud del conocimiento. La responsabilidad de esa exactitud recae en el experto humano. [Carlos Soto, 2005]

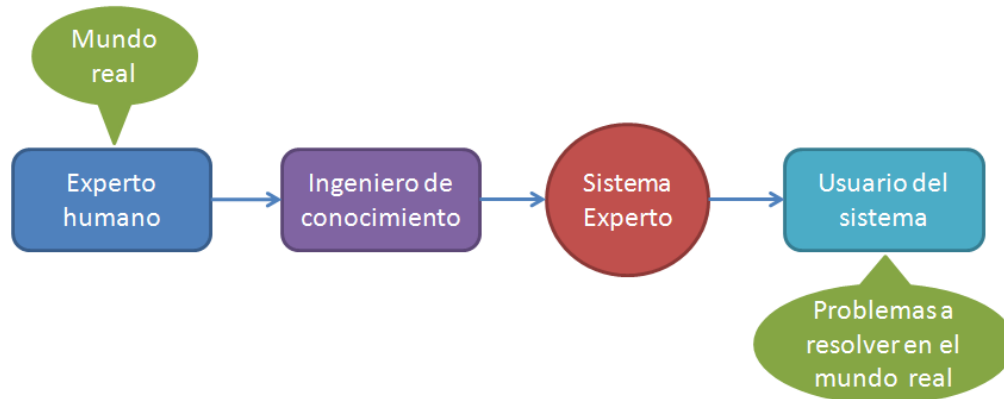


Figura 7 Interacción de los roles en el desarrollo de un SE ⁴

Con el propósito de obtener la aceptación y el éxito del SE, es necesario tomar en cuenta las ideas y necesidades del experto humano, con el objetivo de disponer de un SE útil.

Es importante señalar que existen situaciones en las que el experto humano es el **usuario**, en estos casos el SE es desarrollado para ahorrar trabajo al experto humano en tareas repetitivas que consumen gran cantidad de tiempo.

⁴ "A fondo: Sistemas Expertos". Louis E. Frenzel. 1989. Madrid, España: Anaya, Multimedia, 1989. Capítulo 7. Cómo desarrollar un sistema experto. Pág. 165.



2.10 Proceso de desarrollo

En el proceso de desarrollo de un SE, se identifican cinco fases secuenciales que dan lugar a la metodología la cual será de utilidad para obtener, estructurar y plasmar el conocimiento, en ella se identifican y describen diferentes actividades que son realizadas por uno o varios roles. Generalmente para el desarrollo de un SE se sigue un modelo que es una versión iterativa del modelo tradicional del ciclo de vida del software. A grandes rasgos, primero se debe identificar y analizar el problema para poder determinar si puede solucionarse a partir de una serie de reglas y experiencias. Posteriormente se tiene que idear algún modo de adquirir y modelar el conocimiento extraído del experto humano y por último reducirlo y plasmarlo en un programa computacional. [Rolston, 1991]



Figura 8 Fases y roles en el desarrollo de un SE⁵

En la Figura 8 se muestra de forma gráfica las fases de desarrollo y los roles que intervienen en cada una. En la tabla 8, se describen las fases de la metodología mediante la definición de objetivos, actividades y los productos identificados en cada una.

Fases	Descripción	Actividades	Productos
<p style="text-align: center;">FASE A</p> <p>Identificación del problema</p>	<p>En esta fase se realiza un análisis de la situación actual con la finalidad de definir el contexto del proyecto, se plantean los objetivos generales y específicos del proyecto y delimita el alcance del mismo.</p> <p>Aquí no deben escatimarse tiempos ya que tanto más tiempo se dedique a esta primera etapa, los beneficios en tiempo y esfuerzo se verán reflejados en fases posteriores.</p>	<ul style="list-style-type: none"> Definición del problema a resolver. Realización del análisis de la situación actual. Determinación del alcance y objetivos. Encontrar expertos humanos, datos o experiencia. 	<ol style="list-style-type: none"> Planteamiento del problema. Elaboración de un documento de la definición del proyecto.

Tabla 8 Resumen de la metodología para el desarrollo de un SE

⁵ Diagrama obtenido de la investigación hecha sobre las fases de desarrollo de un SE.



SISTEMA EXPERTO PARA LA INTERPRETACIÓN MAMOGRÁFICA

Sistemas Expertos



Fases	Descripción	Actividades	Productos
FASE B Entendimiento del problema	<p>Elegir al experto humano que pueda resolver el problema definido en la fase anterior y con posibilidades de éxito.</p> <p>Dependiendo del SE, existen problemas cuya solución puede ser extraída de Bases de datos o experiencias que sustituyan al experto humano.</p> <p>De los primeros contactos que se dan con el experto humano en esta fase, es necesario, hacer algunas modificaciones en la fase A, tomando en cuenta las nuevas orientaciones dadas por el experto humano.</p> <p>Es necesario considerar:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Todo lo que involucra la Adquisición del conocimiento. ▪ Entender cómo se manifiesta el problema. ▪ La familiarización con los términos que el experto humano, utiliza con mayor frecuencia. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Entender el problema. ▪ Hacer análisis sobre el proceso de Adquisición del conocimiento. (Consultar sección 3.2.). ▪ Realizar modificaciones a los productos de la fase A. 	<ol style="list-style-type: none"> 3. Elección de experto humano. 4. Seguimiento del proceso de Adquisición del conocimiento
FASE C Formalización del problema	<p>Crear el diseño del sistema que incluye las estructuras para el almacenamiento del conocimiento, el Motor de inferencia, los sistemas de explicación, la Interfaz de usuario con la finalidad de concretar el desarrollo del SE.</p> <p>Se pueden obtener los siguientes productos:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Un árbol de decisión, verificado por el experto humano. ▪ El establecimiento de las posibles reglas de producción. ▪ Generación de la Base de hechos. <p>Es necesario decidir si se utiliza un shell, una herramienta o un lenguaje de programación. En esta etapa es importante evitar esfuerzos inútiles que pueden resultar costosos.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Elección de un formalismo de Representación del conocimiento. (Consultar sección 3.3) ▪ Diseñar el SE. ▪ Elección de la herramienta o lenguaje de desarrollo. (Consultar sección 2.11) 	<ol style="list-style-type: none"> 5. Diseño del SE. 6. Generación de la Base de hechos. 7. Generación de la Base de conocimiento.
FASE D Implementación y pruebas	<p>Implementar el sistema utilizando la herramienta y técnicas especificadas en la fase C a fin de obtener un primer <u>prototipo</u> del sistema y se produce la prueba de éste, produciéndose un ciclo en el que se repiten las fases anteriores hasta que se logran los resultados esperados y se obtenga un prototipo satisfactorio.</p> <p>Se considera superada la fase de prueba cuando:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ El prototipo esté perfeccionado suficientemente. ▪ Cuando las soluciones propuestas por el sistema sean tan válidas como las del experto humano. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Implementación y prueba del primer prototipo. ▪ Incorporación de avances. 	<ol style="list-style-type: none"> 8. Desarrollo de un prototipo. 9. Prueba de un prototipo.



SISTEMA EXPERTO PARA LA INTERPRETACIÓN MAMOGRAFICA *Sistemas Expertos*



Fases	Descripción	Actividades	Productos
	En esta etapa habrá que atender las demandas de los involucrados, resolviendo sus problemas, contestando a sus preguntas, corrigiendo errores y actualizando el sistema con los nuevos avances que se vayan produciendo.		
FASE E Mejora	<p>El refinamiento y la generalización en la que se van puliendo defectos e incluyendo nuevos casos no contemplados en el diseño inicial.</p> <p>En esta fase se pone en marcha y mantiene la operación del SE por medio de la utilización de los recursos, así como el análisis e incorporación de los cambios y mejoras necesarias para asegurar el cumplimiento de los objetivos y el desempeño esperado del sistema.</p> <p>El usuario plantea problemas o defectos del prototipo.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Corrección de defectos. ▪ Realización de modificaciones y mejoras. ▪ Implementación del SE. 	<p>10. Refinamiento y generalización.</p> <p>11. Mantenimiento y actualización.</p>

Tabla 8 Resumen de la metodología para el desarrollo de un SE (cont.)

2.11 Herramientas de desarrollo

Una **herramienta** es una aplicación que hace uso de utilerías para facilitar el desarrollo del SE, la depuración y el uso de los otros programas ligados a la aplicación. Existen diferentes tipos de herramientas para SE, que poseen una gran variedad de niveles y clases de funcionalidad y requerimientos de equipo, que abarcan lenguajes de propósito general para software de propósito general, lenguajes para IA, shells y ambientes híbridos de desarrollo.

La elección de una herramienta es fundamental, se realiza como parte de las actividades de la Fase C del Proceso de desarrollo de un SE y es necesario que esta elección se ajuste al diseño y a los objetivos planteados, pues a la larga se evitarán esfuerzos inútiles, que impliquen más dinero y menos fiabilidad.

Las herramientas son valiosas por las siguientes razones: [Rolston, 1991]

- En muchos casos la utilización de un herramienta para SE puede ser de gran ayuda en algunas áreas específicas del desarrollo del sistema.
- Proporcionan ambientes enriquecidos para el desarrollo de software, los cuales proveen de editores de texto e imágenes, depuradores, administradores de archivos, generadores de texto, herramientas de análisis, gráficos, etc.
- Incluyen ayudas específicas para prototipos rápidos como el control de versiones o el registro histórico de campos.
- Se puede evitar gran parte de la definición de modelos de consulta, Representación del conocimiento y el Motor de inferencia, ya que están incluidos en algunas herramientas.



SISTEMA EXPERTO PARA LA INTERPRETACIÓN MAMOGRAFICA *Sistemas Expertos*



Antes de elegir una herramienta se debe considerar lo siguiente:

- Para la solución del problema primero se debe tomar en cuenta el medio más tradicional, es decir, la programación convencional, por la experiencia que ya se tiene con ésta y la amplia gama de paquetes disponibles.
- Si el problema no se puede resolver de manera eficaz por medio de la programación convencional, entonces hay que pensar en las opciones que ofrecen los medios no convencionales, como la IA ya que para el desarrollo de los SE existen lenguajes de programación populares como LISP y PROLOG, cabe mencionar que se han desarrollado otros lenguajes de programación como IPL-II, SAIL, CONNIVER, KNL y Smalltalk, sin embargo, algunos de ellos sólo se utilizan con fines de investigación.
- Balancear si el problema requiere más conocimiento o inteligencia. Los SE dependen de una gran cantidad de conocimiento especializado o experiencia para resolver el problema, en tanto que la IA se centra en los métodos para resolver el problema.
- Probar el software de partida construyendo un pequeño prototipo antes de lanzarse a su realización.

Durante la selección de alguna herramienta es necesario:

- Considerar como punto clave, la correcta identificación del nivel de especificación, ya que permitirá que la herramienta se adapte al problema.
- Tener claras las ventajas y posibilidades de la amplia gama de herramientas en el mercado.
- Informarse acerca de qué tipo de SE se han construido con la herramienta.
- El grado de satisfacción de los usuarios con la herramienta y con los sistemas construidos.
- Que niveles de soporte están disponibles para construir el primer sistema (prototipo).
- Tomar en cuenta que en la creación de los SE y software de IA el requisito principal es la velocidad de computo ya que los procesos de búsqueda y comparación patrones son lentos por naturaleza y los métodos de desarrollo deben tener en cuenta el impacto que el lenguaje de programación utilizado tendrá sobre ellos.

Después de haber seleccionado la herramienta es recomendable verificar el cumplimiento de los siguientes puntos:

- Que posea solamente el grado de generalidad necesario para resolver el problema dado.
- Que ya haya servido para una aplicación comparable.
- Que ofrezca un lenguaje de Representación del conocimiento, lo más simple y universal posible.
- Que proporcione un medio de acceso a los mecanismos de control si la generalidad es más importante que la eficacia, o a la inversa, un sistema de control muy limitado si se busca un aprendizaje, una automodificación o explicaciones elaboradas.

La mala elección de la herramienta puede alcanzar resultados debajo de los esperados. En seguida, se hablará sobre los diferentes lenguajes que manejan las herramientas de desarrollo para SE.



SISTEMA EXPERTO PARA LA INTERPRETACIÓN MAMOGRAFICA *Sistemas Expertos*



2.11.1 Lenguajes de propósito general para software de propósito general

Se han desarrollado SE casi en todos los principales lenguajes de programación, como Fortran, Basic, Pascal, Forth, C#, C, C++ y Java. Si se tiene experiencia con alguno de los lenguajes mencionados, el proceso de desarrollo de un SE podría ser más fácil. Los más usados han sido C y Pascal pero actualmente con la aparición de la programación orientada a objetos, se han desarrollado SE con C#, C++ y Java

Cuando se programa en un lenguaje convencional, todos los elementos de un SE deben crearse partiendo desde cero, debe diseñarse un formato para la Base de conocimiento, deben determinarse y programarse las estrategias para el Motor de inferencia, crear la Memoria de trabajo, la Interfaz de usuario y otros subsistemas.

Dados los requerimientos actuales, es necesario que el lenguaje elegido sea de alto nivel, por lo que debe cumplir:

- Que tenga la capacidad para soportar estructuras de almacenamiento de conocimiento complejas.
- Que ofrezca rapidez de utilización así como la compatibilidad con otros tipos de programas, Bases de datos, programas de cálculo, aspectos gráficos, entre otros.
- Que brinde la posibilidad de interactuar con un lenguaje procedural orientado a proporcionar técnicas flexibles y robustas para representar datos.
- Que considere el empleo de un lenguaje simbólico, en el caso de que el sistema requiera de cambios relativamente pequeños después de la entrega.

Los factores que determinan que lenguaje será seleccionado para desarrollar el SE, son el tiempo de desarrollo, la conveniencia, la conservación, la eficiencia y la velocidad que se requiera.

2.11.2 Lenguajes para IA

Se han diseñado varios lenguajes de programación para tratar con aplicaciones específicas de la IA como: LISP, PROLOG, INTERLisp D y un lenguaje menos popular pero también importante es Smalltalk. Con el uso de estos lenguajes, el desarrollo de SE resulta un proceso más sencillo que utilizando lenguajes de programación convencionales.

A continuación se describe brevemente dos lenguajes LISP y PROLOG:

LISP

LISP es el lenguaje de programación de alto nivel más usado en IA debido a la flexibilidad que ofrece, se basa en el procesamiento de listas, es fácil de aprender y existen compiladores e intérpretes para todos los ordenadores LISP fue desarrollado en los años 50 por John McCarty.

Es un lenguaje de programación simbólico que representa y manipula la información almacenada en forma de listas, denominadas expresiones. Tiene características como:

- Puede crear y mantener listas especiales denominadas listas de propiedad. Los elementos de estas listas se denominan propiedades y se les puede asignar un valor. Estas son usadas para construir Bases de conocimiento.
- Es fácil implementar técnicas de búsqueda y comparación de patrones.
- Es potente, flexible y es considerado el lenguaje de la IA.
- Es un lenguaje funcional, lo cual fomenta la programación modular.
- Es un lenguaje declarativo pues permite utilizar los principios de razonamiento lógico para responder a las consultas.



SISTEMA EXPERTO PARA LA INTERPRETACIÓN MAMOGRÁFICA *Sistemas Expertos*



PROLOG

PROLOG es un lenguaje de programación que se creó en los años 70 en Francia, permite dar un conjunto de reglas y hechos que describen sus relaciones, es una implementación de los procedimientos empleados en la resolución de problemas matemáticos y simbólicos, para hacerlo, incorpora un Motor de inferencia que realiza búsquedas y comparaciones de patrones. PROLOG se puede utilizar en muchas aplicaciones de la IA, como el tratamiento de lenguajes naturales, pero por su estructura, es ideal para implementar SE. Permite crear un SE sin desarrollar rutinas de búsqueda o de comparación de patrones.

Tiene las siguientes características:

- Utiliza como estrategia de razonamiento, el encadenamiento hacia atrás.
- Lenguaje que permite obtener conclusiones y hacer inferencias.
- Es un lenguaje declarativo.

2.11.3 Shells: lenguajes para SE

Para elegir una tecnología concreta de implementación del prototipo de un SE hay que tener en cuenta la existencia de sistemas esqueletos, llamados "**shells**", conchas o cascarones, que *son herramientas con propósitos específicos (también se les puede ver como estructuras generalizadas)*, diseñadas para cierto tipo de aplicaciones, contienen el Motor de inferencia, la Interfaz de usuario y un Módulo de explicación por lo que el usuario sólo debe proporcionar la Base de conocimiento, al respecto, no se debe dejar de lado que muchos shells provienen de eliminar dicha Base de conocimiento de los SE que han sido diseñados para resolver problemas específicos, en los cuales se pretendió que los componentes comunes (Base de conocimiento, Motor de inferencia, Módulo de explicación, etc.) sirvieran para otros casos de manera independiente. Con el desarrollo de MYCIN se estableció la viabilidad de eliminar el conocimiento médico, como resultado de ello, surgió EMYCIN (Empty MYCIN) que es una estructura generalizada (shell), es decir, es un SE al cual se le quitó el conocimiento del dominio específico.

El Motor de inferencia incorporado en los shells ejecutan las instrucciones del lenguaje y dependiendo de cómo esté implementado, se puede realizar encadenamiento hacia adelante, hacia atrás, o ambos, es importante considerar que se puede adaptar para la realización de SE pero no para programación en general. La mayoría de los shells utilizan reglas de producción. Ejemplos: CLIPS, JESS, AGE, EMYCIN, EXPERT (derivado de CASNET) o KAS (derivado de PROSPECTOR).

El valor de un shell para SE está directamente relacionado con el grado en que las características del dominio se emparejan con las características esperadas por el modelo interno del shell, es importante establecer que no existe ningún shell para todas las aplicaciones.

Un shell proporciona ventajas para el desarrollo del SE como:

- La separación de la Base de conocimiento de los procedimientos que manipulan el conocimiento.
- La Base de hechos y las reglas deben cumplir cierto nivel de exactitud, para ser entendidas por el shell.
- Los resultados son aceptables en el mismo dominio de aplicación.
- Reduce el trabajo de programación, porque no se necesita experiencia para programar en un shell.
- Aceleran el tiempo de programación puesto que son fáciles de usar.
- Reducen el costo de los SE.

Existen dos tipos básicos de shells: los basados en reglas que permiten la creación de marcos y redes semánticas y los basados en inducción que permiten la creación de reglas producción. También existen herramientas híbridas que se clasifican como shells.



SISTEMA EXPERTO PARA LA INTERPRETACIÓN MAMOGRÁFICA *Sistemas Expertos*



Los shells también son clasificados como herramientas híbridas ya que combinan ambientes avanzados de desarrollo y permiten múltiples representaciones del conocimiento y diferentes formas de manejar la inferencia. La integración de estas diferentes opciones es muy útil porque permite que cualquier herramienta sea empleada para los diferentes problemas que necesiten diferentes representaciones del conocimiento o diferentes mecanismos de inferencia y permite resolver con una misma herramienta problemas complejos cuyas partes requieren diferentes tipos de soporte. Algunas hacen uso de gráficas de alta resolución y diferentes ventanas para construir una potente Interfaz de usuario final, además permite al constructor del SE desarrollarlo precisa y rápidamente gracias al manejo de diferentes elementos.

2.11.3.1 Shells basados en reglas

Utilizan reglas de producción para incorporar el conocimiento en la Base de conocimiento, una vez introducidas las reglas, puede comprobarse el programa, el Motor de inferencia formula preguntas, recorre la Base de conocimiento y finalmente proporciona una respuesta.

2.11.3.2 Shells basados en inducción

Permiten construir un SE dando al programa una serie de ejemplos, los ejemplos estarán constituidos por una serie de atributos o condiciones obtenidos en una salida específica. Durante el proceso del tratamiento del conocimiento, mediante técnicas de Ingeniería del conocimiento, se reúne el máximo número de ejemplos posibles del dominio de interés, se introducen en una matriz en donde cada columna representa una condición o atributo y otra columna representa el resultado de las diferentes combinaciones de los atributos, después un algoritmo del sistema de inducción genera las reglas a partir de la matriz, de la forma SI-ENTONCES o en forma de árboles de decisión.

Los shells basados en inducción son fáciles de usar, en ocasiones crear reglas a partir de los conocimientos disponibles es simple, pero crear una matriz de atributos y resultados es muy sencillo.

2.11.4 CLIPS

CLIPS (C Language Integrated Production System) *es una herramienta de software de tipo shell utilizada para la construcción de SE basado en reglas y objetos*, fue creado en 1984 por software Technology Branch (STB), NASA/Lyndon B. Johnson Space Center por Gary Riley, en respuesta a la falta de tecnologías para SE dentro de la NASA y principalmente como una alternativa al uso del lenguaje de programación LISP, el cual presentaba tres desventajas: no era compatible con una gran variedad de computadoras convencionales, las herramientas especializadas tenían un costo muy alto y no se integraba fácilmente con otros lenguajes. [Riley, 2006]

La sintaxis de CLIPS es semejante a la sintaxis de las herramientas basadas en LISP, ART (Herramienta Automática de Razonamiento) y OPS5, fue modelado a partir de ART, sin embargo, no utiliza el motor de inferencia ni el código fuente de éste.

En la página de Internet, <http://clipsrules.sourceforge.net/>, se encuentran disponible diferentes tipos de materiales como documentación para el usuario, descargas de CLIPS para Windows (CLIPSWin) y Mac OS, información de soporte, entre otros.



SISTEMA EXPERTO PARA LA INTERPRETACIÓN MAMOGRAFICA *Sistemas Expertos*



Representación del conocimiento [Giarratano, 2002]

CLIPS es una herramienta útil para representar el conocimiento bajo 3 modelos diferentes de programación:

1. Reglas de producción:
 - Las reglas se utilizan para representar paradigmas heurísticos que especifican un conjunto de acciones a realizar para una situación dada.
 - El constructor del SE define una colección de reglas que en conjunto, resuelven un problema.
 - Las reglas actúan como sentencias SI-ENTONCES.
2. Orientada a objetos:
 - Permite modelar sistemas complejos como conjuntos modulares, lo cual promueve la reutilización de código para generar nuevos componentes.
 - Se expresa mediante funciones definidas por el usuario, funciones genéricas y la programación orientada a objetos (POO), que soporta las cinco características aceptadas: clases, mensajes, abstracción, encapsulamiento, herencia y polimorfismo.
3. Procedural:
 - Permite a representar el conocimiento de manera similar a aquellos presentados en lenguajes como C, Pascal, Ada y LISP.

La versión de CLIPS orientada a objetos (COOL) soporta características como clases con múltiple herencia dinámica, encapsulación, poliformismo y el pase de mensajes con un manejador de mensajería.

Características

Se diseñó para facilitar el desarrollo de software por lo que cuenta con características especiales:

- Portabilidad. Dado que CLIPS está implementado en C (de Kernigan y Ritchie) hereda su portabilidad y rapidez, ha sido instalado en diferentes sistemas operativos con éxito, por ejemplo en PCs de IBM y compatibles, VAX, Hewlett Packard, Sun, Cray y muchos otros fabricantes. Además COSMIC dispone de versiones para Windows, Macintosh y otras. [Giarratano & Riley, 2001]
- Integración. Puede ser llamado desde un lenguaje procedural, realizando su función y devolver el control al programa que le llamó y viceversa, se puede definir código procedural como funciones externas llamadas desde CLIPS y al finalizar la ejecución devolver el control a CLIPS.
- Interfaz gráfica para el usuario. Las versiones estándar de CLIPS proporcionan herramientas para la corrección de errores en el código fuente, ayuda en línea y un editor integrado.
- Motor de inferencia permite el encadenamiento continuo de reglas.
- Utiliza un poderoso acoplador de patrones llamado algoritmo Rete. (Consultar sección 3.3.4.1)
- Es un intérprete de alto nivel.
- Software bien documentado y libre.

Estructura de un programa en CLIPS [Giarratano, 2002]

El shell (parte de CLIPS que realiza inferencias o razonamiento) provee los elementos básicos de un SE:

- Memoria de trabajo: es la memoria global de datos, ésta contiene la lista de datos introducidos por el usuario e inferidos.
- Base de conocimiento: compuesta por las reglas de producción y las funciones
- Motor de inferencia: controla la ejecución de las reglas.

Un programa escrito en CLIPS puede consistir en reglas, hechos y objetos.



SISTEMA EXPERTO PARA LA INTERPRETACIÓN MAMOGRÁFICA *Sistemas Expertos*



2.11.5 JESS

JESS es una herramienta para la construcción de SE basados en reglas de producción, a través de secuencias de comandos (scripting). Fue implementado en Java por Ernest Friedman-Colina en Sandia National Laboratories en Livermore, California, lo cual, le permite tener acceso a la API de Java. Originalmente estuvo inspirado en el shell CLIPS y al igual que éste JESS tiene una sintaxis similar a LISP. Usando JESS, se puede construir software en Java con capacidad para “razonar” usando el conocimiento proveniente de reglas declarativas. Es decir, puede dotar a aplicaciones de Java del razonamiento propio de un SE. JESS es pequeño, ligero y uno de los motores de inferencia más rápidos disponibles actualmente ya que utiliza una versión avanzada del algoritmo Rete para procesar reglas de producción.

Se puede otorgar una licencia para uso comercial y está disponible sin ningún costo para uso académico. Adicionalmente, en la página de JESS, <http://www.jessrules.com/>, se encuentra disponible información sobre la utilización de JESS así como la documentación dirigida al usuario.

Representación del conocimiento

Existen 3 formas de representar el conocimiento en JESS: [Menken, 2004]

1. Reglas, las cuales son principalmente provenientes del conocimiento heurístico basado en la experiencia
2. Funciones, que provienen principalmente del conocimiento procedural.
3. Programación Orientada a Objetos (POO), también proveniente del conocimiento procedural. Las 5 características aceptadas por la POO son soportadas por JESS, éstas son: clases, manejadores de mensajes, polimorfismo, encapsulamiento y herencia. El patrón de reglas puede coincidir con los hechos y los objetos.

Características

JESS tiene características únicas incluyendo el encadenamiento de reglas hacia adelante y la consulta de la Memoria de trabajo. Este puede manipular y razonar directamente objetos de Java. Se pueden crear objetos, llamar a métodos o generar interfaces sin tener que compilar ningún código Java. [Smith & Friedman-Hill, 2008]

Estructura de un programa en JESS

El shell JESS proporciona los elementos básicos de un SE: [Menken, 2004]

1. Memoria de trabajo, memoria global de los datos.
2. Base de conocimiento: contiene todas las reglas.
3. Motor de inferencia: controla la ejecución de todas las reglas.

Un programa escrito en JESS puede contener reglas, hechos y objetos o sólo reglas, solo hechos y sólo objetos, o bien, una mezcla de objetos y reglas.

Capítulo 3 Ingeniería del conocimiento

- 3.1 Introducción
- 3.2 Adquisición del conocimiento
- 3.3 Representación del conocimiento
- 3.4 Incertidumbre



3 INGENIERÍA DEL CONOCIMIENTO

3.1 Introducción

La **Ingeniería del conocimiento** fue definida por Feigenbaum y McCorduck como:

“El arte de conducir los principios y herramientas de la IA para tener aplicaciones de problemas difíciles que requieren el conocimiento del experto para su solución. Los aspectos técnicos para adquirir este conocimiento, representarlo y usarlo apropiadamente para construir y explicar líneas de razonamiento son problemas importantes en el diseño de los sistemas basados en conocimiento. El arte de la construcción de agentes inteligentes es al mismo tiempo una parte y una extensión del arte de programar.” [Turban, 1992]

El objetivo de la Ingeniería del conocimiento es construir sistemas basados en el conocimiento de expertos humanos.

Visto desde una perspectiva estrecha, la Ingeniería del conocimiento tiene que ver con la adquisición, representación, validación, inferencia, explicación y mantenimiento del conocimiento, visto desde una perspectiva amplia tiene que ver con el proceso completo de desarrollo y mantenimiento de sistemas de IA.

En general, la Ingeniería del conocimiento se refiere a la cooperación de expertos humanos en el dominio del conocimiento (Adquisición del conocimiento) con el ingeniero del conocimiento para codificar y hacer explícitas las reglas u otros procedimientos (Representación del conocimiento) que dichos expertos humanos usan para resolver problemas reales, en la construcción de un SE dicha cooperación del experto humano con el Ingeniero de conocimiento se da con la finalidad de estructurar la Base de conocimiento. (Ver Figura 9)

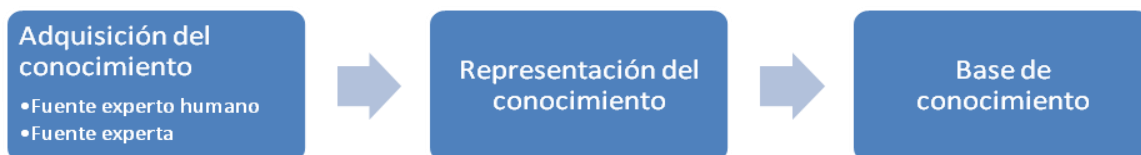


Figura 9 Descripción general de la Ingeniería del conocimiento

El principal logro de la Ingeniería del conocimiento es la construcción de programas que son de naturaleza modular, por lo que las modificaciones y adiciones necesarias pueden hacerse sobre el módulo que se desee sin afectar los otros módulos. Cabe aclarar, que en este caso, la modularidad no es necesariamente el mismo término utilizado en la programación estructurada, en éste ámbito se refiere a la separación de estructuras de conocimiento de los mecanismos de control. Un segundo logro importante es la obtención de un programa que pueda explicar porque hace lo que hace y justificar como lo hizo.

En la Ingeniería del conocimiento se identifican 5 actividades principales, descritas brevemente a continuación:

- **Adquisición del conocimiento.** Se refiere a la extracción del conocimiento de los expertos humanos, libros, documentos, sensores, archivos de computadora, entre otros. El conocimiento puede ser específico en el dominio del problema y los procedimientos para la solución del mismo, puede ser conocimiento general (ejemplo, conocimientos sobre negocios) o bien puede ser metaconocimiento.
- **Representación del conocimiento.** Como parte de esta actividad, el conocimiento adquirido es organizado y codificado en la Base de conocimiento, además se prepara un “mapa de conocimiento”.
- **Validación del conocimiento.** El conocimiento representado en la Base de conocimiento es validado y verificado (por medio de casos de prueba) y sólo es aceptable el conocimiento que tenga calidad.



SISTEMA EXPERTO PARA LA INTERPRETACIÓN MAMOGRÁFICA

Ingeniería del conocimiento



- **Inferencia.** Esta actividad se refiere al diseño del software que habilitará a la computadora para ser inferencias basadas en el conocimiento y entonces proporciona al usuario avisos sobre ciertos tópicos.
- **Explicación y justificación.** Esta actividad se refiere al diseño y programación de la capacidad de explicación, por ejemplo, la programación de la habilidad para contestar las preguntas sobre ¿por qué una pieza específica de información es requerida? O ¿cómo es que se llegó a determinada conclusión?

El proceso de la Ingeniería del conocimiento, es decir, la interacción entre las actividades identificadas anteriormente, se muestra en la Figura 10.

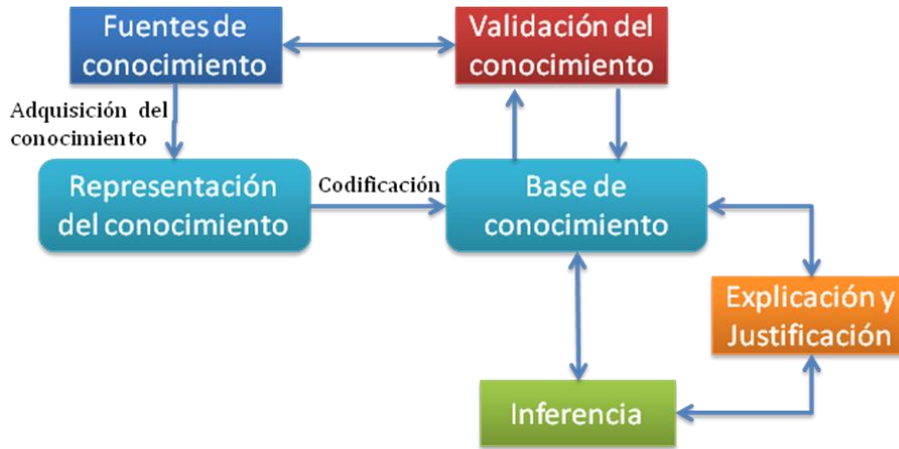


Figura 10 Proceso de la Ingeniería del conocimiento⁶

3.1.1 Definición del conocimiento

Desde el punto de vista de la IA, el conocimiento se puede interpretar como la combinación de esquemas o estructuras de datos y procedimientos interpretativos que confieren algún comportamiento inteligente y está formado por hechos, conceptos, procedimientos, ideas abstracciones, reglas y asociaciones utilizadas para modelar el mundo real.

Es importante mencionar la diferencia entre datos, información y conocimiento (Ver Tabla 9):

Característica	Datos	Información	Conocimiento
Definición	Los datos son valores, que por sí mismos carecen de significado. Elementos de interés potencial	Son datos con un significado. Datos procesados que resultan de interés	Es la unión de datos e información para formular un objetivo y obtener nueva información.
Ejemplificación en diagnóstico médico	Son los síntomas particulares de un paciente o los valores de las pruebas efectuadas al paciente.	Es cuando el especialista interpreta los datos, los datos adquieren un significado especial se convierten en información.	A partir de la información obtenida de pruebas y los síntomas del paciente, el especialista formula una hipótesis, o bien un diagnóstico.

⁶ "Expert Systems and Applied Artificial Intelligence". Efraim Turban. Macmillan Publishing Company, New York, 1992. Capítulo 4. Adquisición y Validación del Conocimiento sección 4.2 Dominio del conocimiento. Pág. 120.



SISTEMA EXPERTO PARA LA INTERPRETACIÓN MAMOGRÁFICA

Ingeniería del conocimiento



Característica	Datos	Información	Conocimiento
Durabilidad	Efímeros ya que son destruidos después de usarlos.	Transitoria.	Permanente.
Almacenamiento	En la Memoria de trabajo.	En la Memoria de trabajo.	En la Base de conocimiento.

Tabla 9 Diferencia entre datos, información y conocimiento

Algunos tipos de conocimiento utilizados en la IA se muestran en la Figura 11, estos pueden provenir de una o varias fuentes:

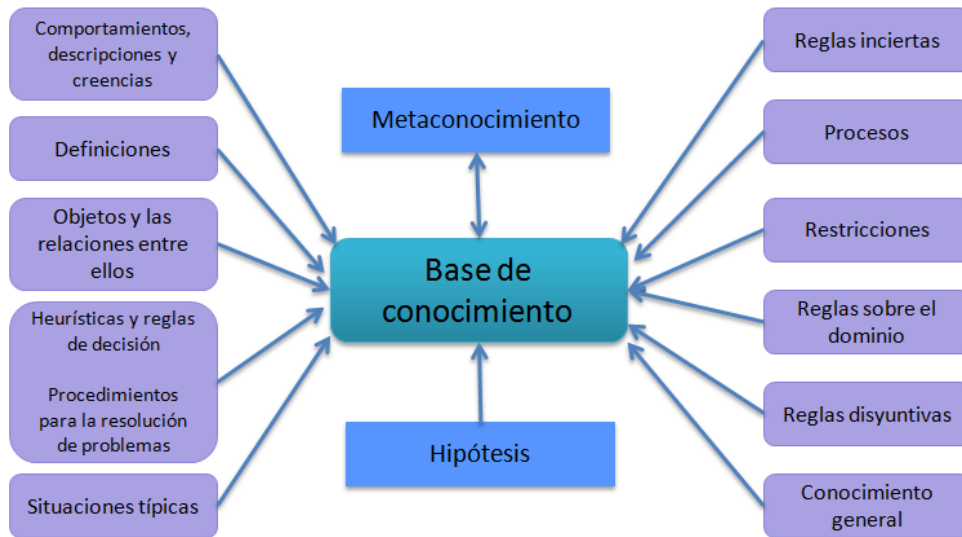


Figura 11 Tipos de conocimiento representados en la Base de conocimiento⁷

3.1.2 Fuentes de conocimiento

El conocimiento puede provenir de diferentes fuentes, las más representativas son libros, películas, Bases de datos informáticas, pinturas, mapas, diagramas de flujo, historias, canciones o comportamiento observado. Estas fuentes pueden ser divididas en dos grupos: las fuentes documentadas y las fuentes no documentadas. Estas últimas, se encuentra en la mente de las personas. El conocimiento puede ser identificado y recolectado por medio de algunos sentidos de los seres humanos o de las máquinas.

En un SE las principales fuentes de conocimiento en la adición de nuevo conocimiento y en el refinamiento del conocimiento proviene del experto humano en el dominio, libros de texto, reportes técnicos, Bases de datos y del medio ambiente (Ver Figura 12). La gran variedad de fuentes y tipos de conocimiento contribuye con la complejidad del proceso de Adquisición del conocimiento y el cumplimiento de las actividades involucradas en éste.

⁷ Expert Systems and Applied Artificial Intelligence”. Efraim Turban. Macmillan Publishing Company, New York, 1992. Capítulo 4. Adquisición y Validación del Conocimiento sección 4.2 Dominio del conocimiento. Pág. 121.



SISTEMA EXPERTO PARA LA INTERPRETACIÓN MAMOGRÁFICA

Ingeniería del conocimiento

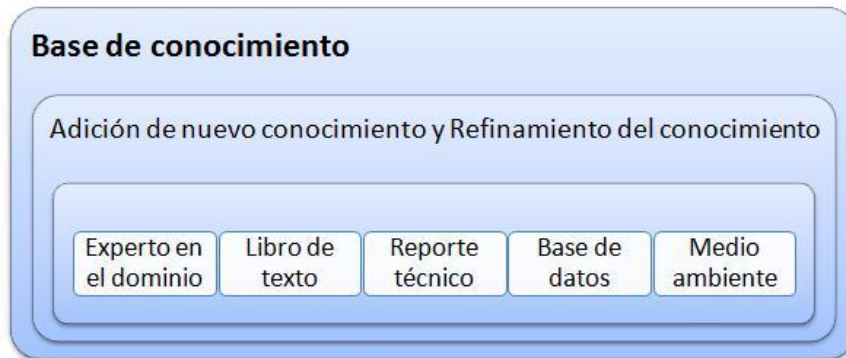


Figura 12 Principales fuentes de conocimiento

3.1.3 Tipos de conocimiento

Existen muchos tipos de conocimiento representables en la Base de conocimiento, éstos se mencionan a continuación:

- **Conocimiento declarativo:** se refiere a la representación descriptiva del conocimiento, como las reglas, hechos, conceptos, relaciones o asociaciones. Este tipo de conocimiento se considera como superficial ya que la información aportada por los expertos humanos puede ser verbal y adquiere gran importancia en la fase inicial de la Adquisición del conocimiento. Alude a la capacidad de que algo puede ser falso o verdadero. Se expresa en forma de frases declarativas.
 - Información sobre hechos.
 - Conocimientos e inferencias representadas en el SE.
- **Conocimiento procedural:** indica cómo utilizar el conocimiento declarativo para hacer inferencias, y poder crear más conocimiento declarativo, como ejemplo de este conocimiento, se encuentran los procedimientos. Indica la manera de trabajar las cosas bajo diferentes sistemas y circunstancias. Se refiere a la forma en que se sabe cómo hacer algo o llevar a cabo una serie de pasos para resolver un problema.
- **Conocimiento semántico:** es aquel que refleja estructuras cognitivas e involucra el uso de memoria a largo plazo, como las palabras, símbolos, el significado de estos, algoritmos para manipular símbolos, conceptos y las relaciones entre ellos, entre otros.
- **Conocimiento episódico:** se refiere a la información organizada como un caso o un suceso como los scripts (guiones), se refiere al pensamiento que se encuentra en la memoria a largo plazo, usualmente está clasificada por el tiempo y el espacio. Es un tipo de conocimiento autobiográfico.
- **Metaconocimiento:** es el conocimiento sobre el propio conocimiento y la experiencia, forma parte del Motor de inferencia. En IA el metaconocimiento se refiere al conocimiento sobre la operación de los sistemas basados en conocimiento, es decir, sobre sus capacidades de razonamiento. (Consultar sección 2.8.2.2)



SISTEMA EXPERTO PARA LA INTERPRETACIÓN MAMOGRAFICA *Ingeniería del conocimiento*



3.2 Adquisición del conocimiento

La **Adquisición del conocimiento** es un proceso mediante el cual, se obtiene el conocimiento de fuentes de experiencia, es requerido para construir el sistema y se lleva a cabo durante todo el desarrollo del sistema. Sin embargo, adquiere especial importancia en la Fase 2 sobre el entendimiento del problema. El conocimiento adquirido se transfiere a la Base de conocimiento e involucra actividades como: la selección del Ingeniero de conocimiento, el establecimiento de las características del conocimiento a adquirir, selección del experto del dominio y la Adquisición y transferencia del conocimiento.

El proceso de la Adquisición del conocimiento, con frecuencia es el componente más difícil por ello es común que se presente como el mayor impedimento o cuello de botella en el desarrollo de un SE, en él, se hace necesario la estructuración e implementación de conocimiento del experto humano, lo cual implica, una gran cantidad de trabajo así como el establecimiento de comunicaciones ampliadas entre el experto humano y el Ingeniero de conocimiento enfrentando los problemas asociados con esta actividad.

En la Adquisición del conocimiento para el desarrollo de un SE, al Ingeniero de conocimiento le corresponde establecer una comprensión global del área, formar un diccionario mental de los términos y lenguaje esenciales del área, además, desarrollar una comprensión básica de los conceptos claves y ser muy cuidadoso para reflejar el conocimiento del experto humano. Luego debe condensar el conocimiento adquirido a partir de la información proporcionada por el experto humano. Por lo anterior el Ingeniero de conocimiento juega un papel crítico en la construcción de un SE ya que aunque sea el conocimiento del experto humano el que se está modelando, el Ingeniero de conocimiento es el que está construyendo el sistema.

La existencia de la Adquisición del conocimiento está necesariamente relacionada con el conocimiento del dominio el cual se obtiene del experto humano, de los libros, y de una gran variedad de fuentes, incluyendo la documentación y los sistemas existentes de información computacional, pero la mayor parte de este conocimiento, debe obtenerse de personas expertas. El conocimiento proporcionado por el experto humano por lo general estará orientado hacia el tema del área, es adquirido por el aprendizaje por lo que están involucradas las asociaciones empíricas, conceptos, restricciones de valores que debe tomar, modelos causales y esquemas de razonamiento. Al respecto es necesario mencionar la diferencia entre el dominio del problema y dominio del conocimiento. El **dominio del problema** es el área específica en la que se centra el conocimiento del experto humano en tanto que el **dominio del conocimiento** es el conocimiento que ha adquirido el experto humano para resolver problemas específicos. Ejemplo: Un SE médico, usado para diagnosticar enfermedades infecciosas con una gran cantidad de conocimiento sobre los síntomas asociados a estas enfermedades, en este caso, el dominio del conocimiento del experto humano es la medicina y el dominio del problema, consta del conocimiento de las enfermedades, sus síntomas y tratamientos.

Es importante señalar que la realización de sistemas de IA no sólo depende de la Adquisición del conocimiento pero con frecuencia el conocimiento es representado de tal forma que determina el modo en el cual se da el proceso de inferencia (o razonamiento).

3.2.1 Etapas de la Adquisición del conocimiento

En el proceso de Adquisición del conocimiento se identifican 5 fases (Ver Figura 13), a continuación son descritas de manera general: [Turban, 1992]

1. **Identificación.** Durante esta etapa, el problema y sus características principales son identificadas. El problema es dividido en subproblemas (si es necesario), los participantes son identificados, y se describen los recursos. El Ingeniero de conocimiento aprende de la situación y lo plasma todo cumpliendo con el propósito de la aplicación de IA.



SISTEMA EXPERTO PARA LA INTERPRETACIÓN MAMOGRAFICA

Ingeniería del conocimiento



2. **Entendimiento.** El conocimiento importante para una situación de decisión puede estar diferenciada. Por tanto, esto es necesario para determinar los conceptos y las relaciones usadas. Estas y muchas otras cuestiones son respondidas durante el entendimiento, por ejemplo: ¿Cuál información es usada y cómo puede ser representada en la Base de conocimiento? ¿Son las reglas un buen medio de representación? ¿Cómo extraer los conocimientos de manera segura?
3. **Formalización.** El conocimiento es adquirido por la representación en la Base de conocimiento. La forma en la cual el conocimiento es organizado y representado puede determinar la metodología de adquisición. Por ejemplo, en los sistemas basados en reglas, debe ser organizado en términos de reglas. En esta etapa la Adquisición del conocimiento en realidad es mezclada con la Representación del conocimiento. Aquí, varias piezas de software y hardware también son examinadas. Esta etapa es muy difícil porque en ella está involucrada la extracción del conocimiento de los expertos humanos.
4. **Implementación.** Esta etapa involucra la programación del conocimiento en la computadora. Sin embargo, las mejoras del conocimiento están hechas con adquisiciones adicionales o cambios. Un prototipo de SE es desarrollado en esta etapa.
5. **Pruebas.** En la etapa final, el Ingeniero de conocimiento prueba el sistema por medio de ejemplos. Los resultados son mostrados al experto humano y las reglas (o cualquier Representación del conocimiento) son revisadas de ser necesario. En otras palabras, se examina la validez del conocimiento.

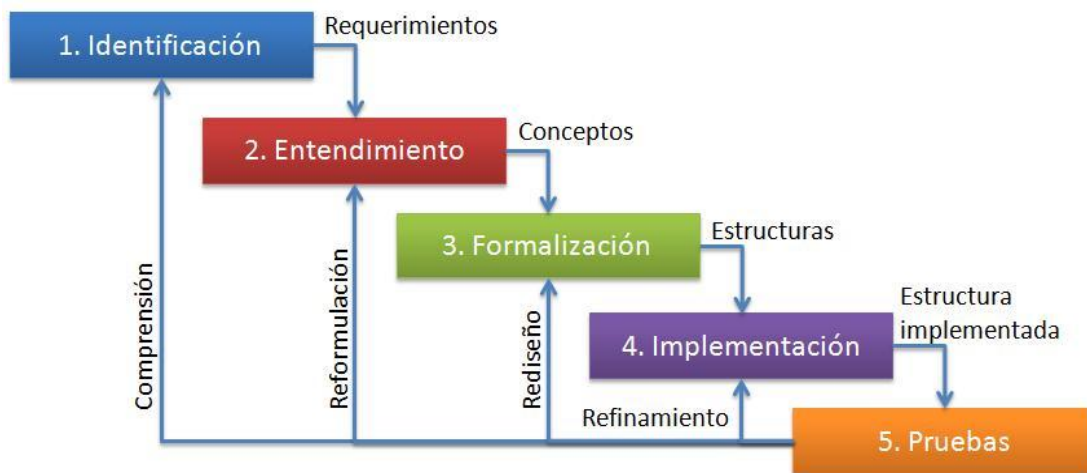


Figura 13 Etapas de la Adquisición del conocimiento⁸

A continuación en la Tabla 10 se describe cada etapa con mayor profundidad y adicionalmente se identifican las actividades y los productos resultantes de cada etapa. [Rolston, 1991]

Nombre	Descripción	Actividades	Productos
1 Identificación	<p>Se identifica el dominio, la tarea a realizar, los roles del Ingeniero de conocimiento (IC) y del experto humano (EH), es un periodo de familiarización.</p> <p>Se identifican los problemas de muestra a ser usados en la implementación inicial (prototipo de demostración). La identificación del problema se realiza por medio del análisis primero-amplitud, en el cual se enlistan los problemas genéricos</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Se realiza un reunión informal entre el IC y el EH con el propósito de: 1) Establecer armonía entre el IC y el EH, basada en el respeto. 2) Proporcionar al IC un panorama de muy alto nivel del dominio. 3) Poner al EH con 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Descripción general del problema. 2. Bibliografía con referencias importantes. 3. Glosario que describa el lenguaje del dominio. 4. Descomposición

⁸ "Expert Systems and Applied Artificial Intelligence". Efraim Turban. Macmillan Publishing Company, New York, 1992. Capítulo 4. Adquisición y Validación del Conocimiento sección 4.5 Métodos de Adquisición del Conocimiento: Una visión general. Pág. 127.



SISTEMA EXPERTO PARA LA INTERPRETACIÓN MAMOGRÁFICA

Ingeniería del conocimiento



Nombre	Descripción	Actividades	Productos
	que sirven para delimitar el espacio global del problema para que posteriormente se seleccionen varios problemas específicos, los cuales son identificados uno por el IC y por el EH como producto del trabajo continuo, éstos problemas deben ser nominales, característico de una gran clase de problemas, importantes y bien entendidos.	<p>conceptos de SE y sobre las actividades de los roles involucrados.</p> <ul style="list-style-type: none"> El IC debe permanecer consciente de la necesidad de la existencia de una relación personal de trabajo continuo con el EH. El IC debe usar lenguaje corriente del dominio, en el momento de trabajar con el EH. 	<p>del problema (si es necesario).</p> <p>5. Identificación del problema.</p>
<div style="background-color: #800000; color: white; border-radius: 50%; width: 30px; height: 30px; display: flex; align-items: center; justify-content: center; margin: 0 auto;">2</div> <p>Entendimiento</p>	<p>Las estrategias del dominio son más difíciles de articular por el EH que los conocimientos que se apegan a los hechos.</p> <p>Se puede descubrir un modelo del dominio a través de la búsqueda de analogías entre el tema del dominio y otros dominios que se han entendido por completo. Un IC debe tener una fundamentación tan general como sea posible para incrementar la posibilidad de reconocer las analogías.</p> <p>Después de que se entienden los conceptos básicos y se desarrolla un modelo derivado, se realiza un extracto de nuevos conceptos y el reconocimiento de conceptos que dan pie a un concepto más general.</p> <p>Para la Adquisición del conocimiento se recomienda realizar entrevistas semiestructuradas. El IC debe hacer preguntas de sondeo hasta que se determine un nivel de detalle satisfactorio. Normalmente toma alrededor de 4 horas hacer un análisis detallado de una entrevista de 1 hora.</p>	<ul style="list-style-type: none"> Identificar las subtareas que abarca el dominio. Identificar y describir las estrategias que son componentes conceptuales del dominio. Establecer las clases de incertidumbre están involucradas en el dominio. Determinar las heurísticas que emplea el EH para limitar la búsqueda. Descubrir el modelo en que se basa para el dominio, con el fin de unir al mismo tiempo el conocimiento conceptual. Identificar las soluciones típicas del problema y cuáles son sus características. 	<p>6. Entendimiento de los conceptos y términos básicos.</p> <p>7. Desarrollo de un modelo derivado.</p> <p>8. Conjunción de conceptos, en más general.</p> <p>9. Fuentes de conocimiento que serán usadas.</p> <p>10. Determinación de las estrategias para resolver el problema</p> <p>11. Determinación de la metodología para la Adquisición del conocimiento. (Consultar sección 3.2)</p>
<div style="background-color: #008000; color: white; border-radius: 50%; width: 30px; height: 30px; display: flex; align-items: center; justify-content: center; margin: 0 auto;">3</div> <p>Formalización</p>	<p>Se formaliza el problema, se crean estructuras simbólicas, las reglas y la representación procedural.</p> <p>El análisis de primero-profundidad limita la complejidad y posibilita al EH para acceder a conocimiento de niveles más bajos, extendiendo en serie capas sucesivas de conocimiento jerárquico.</p> <p>Posteriormente, cuando se repasa el conocimiento, se verá que el EH ha</p>	<ul style="list-style-type: none"> Analizar jerárquicamente el problema, basándose en la descomposición de arriba hacia abajo. Se realizan entrevistas para dar seguimiento al proceso de investigación del problema. El IC debe tener el contexto de solución de problemas. Se puede realizar la investigación del 	<p>12. Análisis jerárquico del problema.</p> <p>13. Visión global del problema para la extracción de conocimientos.</p> <p>14. Selección de una Representación del conocimiento (Consultar sección 3.3).</p>



SISTEMA EXPERTO PARA LA INTERPRETACIÓN MAMOGRAFICA

Ingeniería del conocimiento





Nombre	Descripción	Actividades	Productos
	<p>omitido muchos detalles importantes en la solución de problemas, ya que el conocimiento detallado que posee el EH se da subconscientemente, es decir, el EH no está consciente sobre los detalles que se han omitido, en este caso el IC debe ayudar al EH a rastrear los elementos descartados.</p>	<p>problema detallado primero-profundidad.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Seleccionar una representación de conocimiento tan pronto como sea posible, aunque no sea la representación final (u óptima). 	
 4 Implementación	<p>Esta etapa es conducida por el IC.</p> <p>La estructura del conocimiento que se empleará para representar los conceptos de desarrollo y el conocimiento de la solución de problemas toma forma en esta etapa de acuerdo al avance de las etapas de entendimiento y formalización.</p> <p>Se pueden presentar las siguientes dificultades:</p> <ul style="list-style-type: none"> • El EH puede no tener el conocimiento requerido en alguna área. • El EH puede no estar consciente del conocimiento requerido. • El EH puede no estar en capacidad de comunicar el conocimiento al IC. • El EH puede no estar en capacidad de estructurar el conocimiento para codificarlo en la Base de conocimiento. <p>Es difícil seleccionar una representación apropiada del conocimiento por ello es necesario tener bien definido el dominio de los conocimientos como para poder de extraer el conocimiento, una buena selección permitirá tener una representación definida para sostenerlo.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Realizar una entrevista al EH en relación con la actividad de la solución de problemas. • El IC debe mantener el conocimiento en un nivel consciente ya que el propósito es mantener de manera explícita el conocimiento. • Se realizan simulaciones cognoscitivas, reflejado la forma en la cual el EH realiza el proceso de resolución de problemas. 	<p>15. Conciencia del conocimiento.</p> <p>16. Simulación cognoscitiva.</p>
 5 Pruebas	<p>En esta etapa se comprueba si la selección de la Representación del conocimiento fue dispareja, es decir si existe diferencia entre lo que contiene el EH y lo que fue representado por el IC en una simulación funcional (desarrollo del sistema que produce el mismo resultado que el EH pero utilizando diferentes técnicas).</p> <p>No es necesario que las pruebas tengan el Motor de inferencia completo, sin embargo, la Base de conocimiento se puede ir probando.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Pruebas con ejemplos reales. • Se muestran los resultados a los expertos humanos. • Si es necesario se revisan las reglas o marcos. Validación del conocimiento. 	<p>17. Simulación funcional.</p>

Tabla 10 Descripción de etapas de la Adquisición de conocimiento



SISTEMA EXPERTO PARA LA INTERPRETACIÓN MAMOGRAFICA

Ingeniería del conocimiento



3.2.2 Métodos de Adquisición del conocimiento

El modelo básico de la Ingeniería del conocimiento retrata el trabajo en equipo en el cual un Ingeniero de conocimiento es el intermediario entre el experto humano y la Base de conocimiento. El Ingeniero de conocimiento obtiene conocimiento inducido del experto humano, es refinada con el experto humano y representada en la Base de conocimiento. La obtención del conocimiento se logra por medio de métodos manuales o mediante la utilización de computadoras, sin embargo, se clasifican en tres grandes grupos: manuales, semiautomatizados y automatizados, en las secciones posteriores se describe cada uno. (Ver Figura 14)

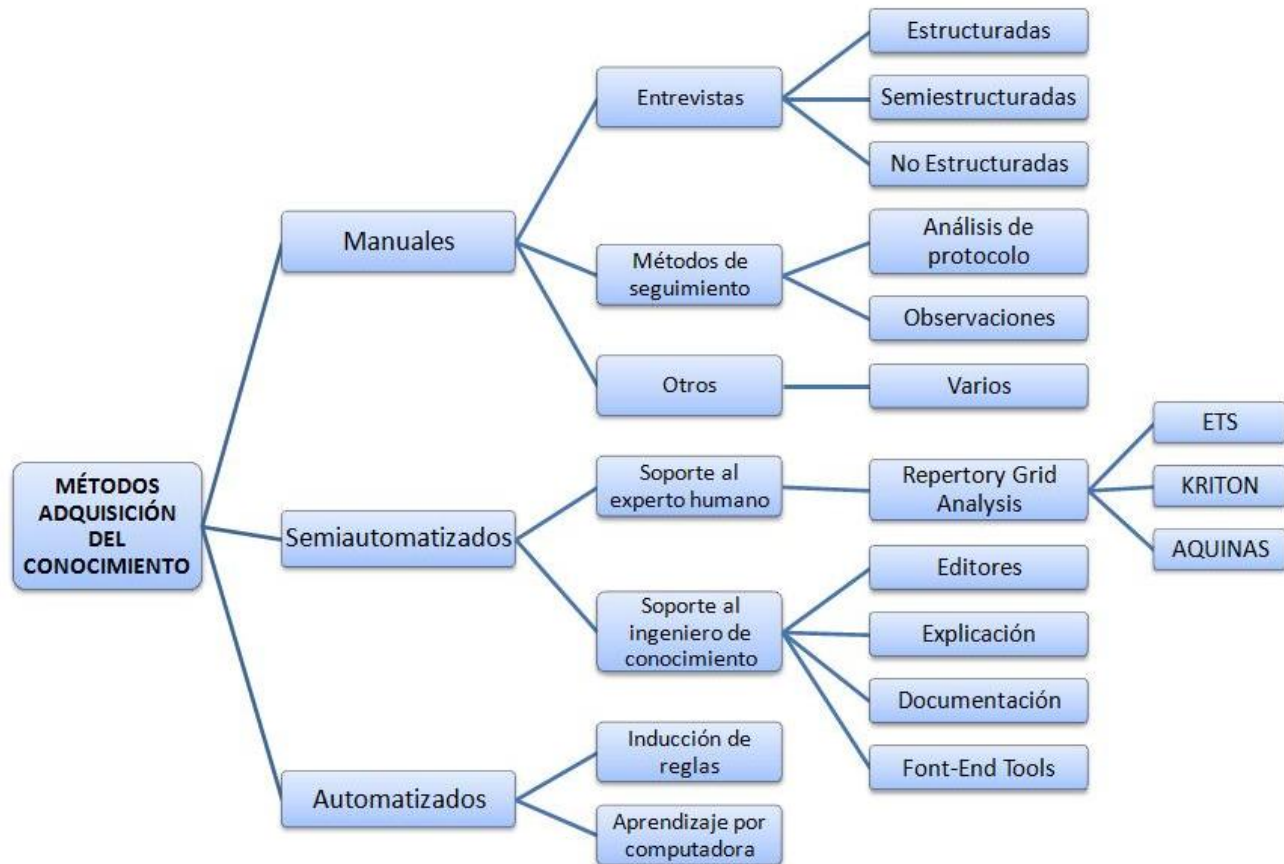


Figura 14 Métodos de Adquisición del conocimiento⁹

La selección de un método de Adquisición del conocimiento depende de diversos factores como:

- El nivel de experiencia en el dominio de conocimiento del experto humano.
- La fase del proceso de Adquisición del conocimiento en el que se encuentre el desarrollo del proyecto.
- De los tiempos de desarrollo del proyecto.
- De los recursos con los que se cuente en el desarrollo del proyecto.

⁹ “Expert Systems and Applied Artificial Intelligence”. Efraim Turban. Macmillan Publishing Company, New York, 1992. Capítulo 4. Adquisición y Validación del Conocimiento sección 4.5 Métodos de Adquisición del Conocimiento: Una visión general. Pág. 130.



SISTEMA EXPERTO PARA LA INTERPRETACIÓN MAMOGRÁFICA

Ingeniería del conocimiento



3.2.2.1 Manuales

Están básicamente estructurados alrededor de alguna clase de entrevista. El Ingeniero de conocimiento obtiene conocimiento mediante la interacción directa con el experto humano y/o de otras fuentes (conocimiento documentado) y entonces lo codifica en la Base de conocimiento (Ver Figura 15). Los métodos manuales son lentos, caros y ocasionalmente inexactos, por lo que actualmente se opta por la utilización de métodos automatizados o semiautomatizados, tanto como sea posible, sin embargo, con el empleo de métodos manuales se puede obtener más información de la que se obtendría por cualquier otro método.

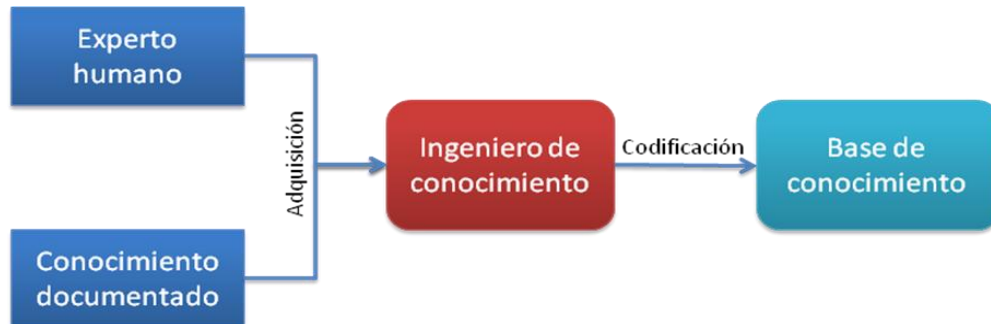


Figura 15 Métodos manuales de Adquisición del conocimiento¹⁰

Los mejores métodos manuales son 1) las entrevistas, 2) los métodos de seguimiento y 3) una colección de diversos métodos, en seguida se ahonda en cada uno:

1. **Entrevista** [Turban, 1992]: Una entrevista es un diálogo con un propósito específico, en este caso, el propósito es la Adquisición del conocimiento. La entrevista es la forma más usada para la adquisición de conocimiento. Implica un diálogo directo entre el experto humano y el Ingeniero de conocimiento. La información obtenida, es recolectada para su análisis y transcripción, utilizando instrumentos tradicionales como grabadoras o cuestionarios. Inicialmente se puede analizar un caso real sobre el área del problema, de esta forma, el experto humano puede explicar la forma en la cual resuelve el problema. La entrevista puede ser un proceso tedioso y requiere que el Ingeniero de conocimiento cuente con habilidades como la comunicación y conceptualización, también implica grandes exigencias en el dominio del experto humano quien tiene que tener la habilidad no sólo de demostrar su experiencia sino también de expresarla. Es una técnica explícita que surge en 3 modalidades:
 - **Estructurada** en la cual se realizan preguntas específicas relativas a las características del sistema. La entrevista estructurada es un proceso sistemático orientado a objetivos. Lo anterior precisa una comunicación organizada entre el Ingeniero de conocimiento y el experto humano. La estructura reduce los problemas de interpretación propios de la entrevista no estructurada, y eso permite que el Ingeniero de conocimiento prevea la distorsión causada por la subjetividad del experto humano en el dominio. En una entrevista estructurada, el Ingeniero de conocimiento, requiere centrar la atención en actividades importantes que son parte del proceso, como:
 - Estudiar el material disponible en el dominio para identificar de los aspectos más relevantes del conocimiento.
 - Revisar las capacidades previstas del SE. Identificar los objetivos de las preguntas que se harán durante la sesión de la Adquisición del conocimiento.

¹⁰ "Expert Systems and Applied Artificial Intelligence". Efraim Turban. Macmillan Publishing Company, New York, 1992. Capítulo 4. Adquisición y Validación del Conocimiento sección 4.5 Métodos de Adquisición del Conocimiento: Una visión general. Pág. 131.



SISTEMA EXPERTO PARA LA INTERPRETACIÓN MAMOGRÁFICA

Ingeniería del conocimiento



- Formalizar la planeación de las entrevistas estructuradas. Incluyendo la planificación para asistir a las reuniones, la definición del periodo de sesiones para la adquisición de conocimientos, objetivos y agendas e identificar y refinar mejores áreas para realizar preguntas.
- Escribir preguntas simples, enfocarse en algún tipo de pregunta, en algún nivel y técnicas para realizar preguntas.
- Asegurar que el experto humano en el dominio entienda el propósito y los objetivos de la sesión y alentar al experto humano para establecer una preparación previa a la entrevista.
- Seguir a las directrices para la realización de la entrevista.
- Usar un control direccional para mantener la estructura de la entrevista.

Las entrevistas estructuradas conforman un método ideal, cuando se va a llevar a cabo una serie de entrevistas durante un periodo de tiempo, ya que permiten repetir preguntas, estableciendo una comparación y verificación entre las respuestas dadas por el experto humano.

- **Semiestructurada** en donde se realizan preguntas abiertas y puntos a cubrir. Se hace uso de este tipo de entrevista cuando existe información que se desea obtener de manera puntual. Se puede empezar con una lista de preguntas o temas que se quiera abordar durante la entrevista, sin embargo, no es necesario que el orden en el que se abordan los temas o preguntas, sea estricto, pero si es necesario que se cubran todos los puntos. Conforme transcurre la entrevista, ésta se puede convertir en una conversación con el experto humano.
- **No estructurada** con preguntas generales para obtener la mayor cantidad de información posible. Este tipo de entrevista es usada como punto de partida, puesto que muchas entrevistas para la Adquisición del conocimiento son conducidas de manera informal, por lo tanto ayuda a la obtención rápida de una estructura básica del dominio. El rol del Ingeniero de conocimiento en una entrevista no estructurada es formular preguntas espontáneas, lo cual no siempre es una tarea fácil, ya que puede conducir problemáticas.

De acuerdo con McGraw y Harbinson-Briggs en raras ocasiones se proporciona información sobre los procesos cognitivos, primero observaron que los dominios del SE son complejos por lo que el Ingeniero de conocimiento y el experto humano deben prepararse activamente para las entrevistas. Las entrevistas no estructuradas carecen de la organización que permita traducir eficazmente la entrevista. Segundo, los expertos humanos en el dominio usualmente se encuentran con que es muy difícil expresar alguno de los muchos elementos importantes de su conocimiento. Tercero, los expertos humanos en el dominio pueden interpretar la falta de estructura en la entrevista de manera análoga a que requieren poca preparación para la entrevista. Cuarto, la información adquirida en la entrevista no estructurada a menudo es aislada, existen diferentes niveles de complejidad y es difícil que el Ingeniero de conocimiento la revise, integre e interprete. El quinto problema detectado por McGraw y Harbinson-Briggs se refiere a la formación, ya que debido a la carencia de formación y experiencia, pocos ingenieros de conocimiento pueden conducir eficientemente una entrevista no estructurada. Los ingenieros de conocimiento aparecen desorganizados y sin darse cuenta proyectan desconfianza al experto humano. Esto puede deteriorar la relación necesaria para trabajar juntos en el esfuerzo para desarrollar el SE. Finalmente y lo más importante es que las entrevistas no estructuradas generalmente no facilitan la adquisición de información específica de los expertos humanos.

En general, cuanto más experto sea en el dominio del conocimiento el experto humano, es recomendable elegir una entrevista con menor estructura, esto hace que la información fluya de manera natural.



SISTEMA EXPERTO PARA LA INTERPRETACIÓN MAMOGRÁFICA

Ingeniería del conocimiento



2. **Métodos de seguimiento** [Turban, 1992]. El proceso de seguimiento *se refiere al conjunto de técnicas que intentan seguir el proceso de razonamiento de un experto humano, puede ser formal o informal.* Este es un enfoque popular entre los psicólogos cognitivos, quienes están interesados en descubrir el “rumbo de pensamiento” de los expertos humanos cuando resuelven un problema. El Ingeniero de conocimiento puede usar este método para encontrar que información está siendo usada y como está siendo usada. Entre los métodos de seguimiento formales, se encuentra el **análisis de protocolo** que es el más usado y entre los métodos de seguimiento informales se encuentran las **observaciones**.

El **análisis de protocolo** *es un conjunto de técnicas particulares conocidas como protocolo de análisis verbal, el un método común por medio del cual el Ingeniero de conocimiento adquiere conocimiento detallado del experto humano.* Un protocolo es un registro o documentación del procesamiento de la información paso a paso del experto humano y de su comportamiento en la toma de decisiones. En este método, el cual es similar a la entrevista pero más formal y sistemático, el experto humano es inducido a realizar una tarea real y para expresar verbalmente su proceso de razonamiento. El experto humano es invitado por el Ingeniero de conocimiento para “pensar en voz alta” mientras realiza una tarea o resuelve un problema bajo observación, eso describe muchos de los aspectos del procesamiento de la información y de la toma de decisiones, en este momento se efectúa una grabación que posteriormente se convierte en un registro o protocolo del rumbo del comportamiento del experto humano, después esta grabación se transcribe para un análisis posterior.

Mediante **observaciones** [Turban, 1992] en ocasiones, es posible observar al experto humano en su campo de trabajo. Para efectuar la Adquisición del conocimiento éste método puede ser el más obvio y sencillo de los métodos manuales. Conlleva dificultades que no deben ser subestimadas, por ejemplo, la mayoría de los expertos asesoran a varias personas al mismo tiempo, entonces las observaciones deben permitir al experto humano realizar otras actividades. Mediante la observación es posible recolectar una gran cantidad de datos, de los cuales sólo se utiliza una pequeña parte, la recolección está en función del número de cintas o videos que se tengan, al respecto, es importante evaluar los tanto los costos monetarios como el tiempo de transcripción de las cintas. Las observaciones pueden ser consideradas como un caso particular de los protocolos de análisis, son de dos tipos: 1) en las cuales se documenta el rendimiento físico del experto humano en la realización de una tarea y 2) en las cuales se registra cuando el experto humano hace hincapié con la mirada en alguna acción que esté ejecutando.

3. **Otros métodos manuales** [Turban, 1992]. Se puede hacer uso de otro tipo de métodos para extraer el conocimiento de los expertos humanos. Como ejemplo se tienen los siguientes:
- Casos de análisis. En los que se pregunta al experto humano sobre la forma en la que maneja casos específicos, varios expertos humanos pueden ser consultados, usualmente este método se analiza la documentación proporcionada por el experto humano.
 - Análisis de casos particulares. Se seleccionan casos de investigación, difíciles o que presentan especial interés para los expertos humanos, quienes pueden someterlos a discusión.
 - Comentarios. El Ingeniero de conocimiento pregunta a los expertos humanos y da un comentario rápido a lo que ellos están haciendo, este método es soportado por videos de los expertos en acción.
 - Mapas conceptuales. Gráficas o diagramas pueden ser utilizados para dar soporte a los otros métodos de Adquisición del conocimiento.
 - Lluvia de ideas. Se utiliza cuando se solicita la opinión de varios expertos humanos y es útil para generar ideas.
 - Prototipos. Si se trabaja con un prototipo del sistema se estará tomando un rumbo muy eficaz para inducir la contribución del conocimiento del experto humano, los cambios pueden hacerse instantáneamente y a los expertos humanos les gusta participar activamente en el sistema.
 - Escalamiento multidimensional. Identifica varios niveles de conocimiento y después se acomoda en forma de una matriz de distancia. Por medio del ajuste de la regresión de mínimos cuadrados, se analizan, integran e interpretan varias dimensiones.



SISTEMA EXPERTO PARA LA INTERPRETACIÓN MAMOGRAFICA *Ingeniería del conocimiento*



3.2.2.2 Semiautomatizados

Estos métodos están divididos en dos categorías: 1) los que dan apoyo al experto humano y 2) los que dan apoyo al Ingeniero de conocimiento, en seguida se describe cada uno de ellos.

1. Los que dan **soporte al experto humano** [Turban, 1992]. Son métodos que tratan de proveer soporte a los expertos humanos que le permiten construir las Bases de conocimiento con poca o sin ayuda de los ingenieros de conocimiento (Ver Figura 16). Debido a que los ingenieros de conocimiento no poseen conocimientos profundos sobre el dominio, sus servicios son caros y podrían tener poca habilidad de comunicación, el proceso de la Adquisición del conocimiento puede ser lento, con muchas iteraciones, caro e incluso no realizable ya que los expertos humanos pueden encontrar difícil contribuir con su conocimiento siguiendo el proceso de la ingeniería del conocimiento. El rol del Ingeniero de conocimiento y el proceso de Adquisición del conocimiento, pueden ser reducidos. Cuando se hace uso de herramientas que den apoyo al experto humano existen ventajas como:
 - El experto humano puede identificar las variables y las relaciones entre ellas.
 - El experto humano puede aprender y usar la interface.
 - El experto humano puede usar las técnicas asistidas por computadora para ejecutar el proceso, cuando sea necesario.
 - El experto humano puede estructurar un modelo perfectible usando un enfoque estructurado del dominio
 - La pérdida inevitable de la transparencia en la codificación del conocimiento es aceptable si el experto humano puede asegurar el rendimiento del modelo.

Este tipo de métodos de adquisición del conocimiento son vistos bajo dos enfoques: los manuales y los asistidos por computadora (semiautomáticos).

Los métodos manuales son aquellos que hacen uso de cuestionarios o reportes organizados. Cuestionarios de composición abierta son apropiados para descubrir el conocimiento en el cual los conceptos generales son usualmente el resultado. Los cuestionarios de opción múltiple son más estructurados y fáciles de llenar, pero el conocimiento es limitado.

Los métodos asistidos por computadora tienen el propósito de proveer un soporte computarizado al experto humano lo cual permite reducir o eliminar los problemas como el sesgo indeterminado y la ambigüedad. Estos problemas dominan la recolección de información para la Base de conocimiento inicial y el refinamiento interactivo de este conocimiento.

La herramienta óptima para adquirir conocimiento debe ofrecer la posibilidad para agregar conocimiento en la Base de conocimiento, refinar e incluso corregir el conocimiento existente. Además de las técnicas visuales de modelado, existen varias herramientas que pueden ser utilizadas por los expertos, sin embargo, los métodos de específicos como el Repertory Grid Analysis. [Turban, 1992]

El **Repertory Grid Analysis (RGA)** es uno de los métodos que han sido desarrollados para dar solución al caso que se presenta cuando el experto humano tiene dificultad para expresar y estructurar su razonamiento, resulta de la psicología, usa un enfoque llamado entrevista de clasificación, dicha entrevista está muy estructurada y cuando se aplica a las tecnologías de la IA, usualmente es asistida por computadora. Está basado en el modelo de Kelly del pensamiento humano llamado Teoría de Construcción Personal, la cual considera a cada persona como un “científico personal”, el cual busca predecir y controlar eventos por medio de la formulación de teorías, probando hipótesis y analizando resultados de los experimentos. El conocimiento y las percepciones sobre el mundo están clasificadas y organizadas por cada individuo como un modelo personal perceptual. Este modelo personal coincide con nuestra visión de un experto humano en el trabajo; es una descripción del desarrollo y el uso del conocimiento de los expertos humanos y por lo tanto es adecuado para los SE.



SISTEMA EXPERTO PARA LA INTERPRETACIÓN MAMOGRÁFICA

Ingeniería del conocimiento



El RGA trabaja de la siguiente forma:

1. El experto humano identifica los objetos importantes en el dominio de experiencia.
2. El experto humano identifica los atributos importantes que son considerados para tomar decisiones en el dominio.
3. Por cada atributo, el experto humano establece una escala bipolar con características distinguibles y sus oposiciones.
4. El entrevistador escoge 3 de los objetos y realiza preguntas como: ¿Qué atributos o características distinguen a dos de los objetos del tercer objeto?

Existen otras herramientas basadas en el método RGA encaminadas a ayudar al entendimiento del dominio, entre ellas se encuentran:

- Expertise Transfer System (ETS), es un programa de computadora que entrevista a los expertos humanos y los ayuda a construir SE o bien para desarrollar rápidamente prototipos, para asistir al experto humano para determinar si el conocimiento es suficiente para resolver el problema y para crear Bases de conocimiento de diferentes shells de SE.
- KRITON, es un sistema que intenta automatizar el método RGA. Dirige las entrevistas con los expertos humanos, analiza protocolos y documentos interactuando con los expertos humanos. El experto humano, basado en las estadísticas de las palabras clave, selecciona partes de texto para un análisis proposicional que usa las mismas herramientas usadas en el análisis protocolar.
- AQUINAS, es una herramienta muy compleja que da solución al problema y representa el conocimiento del ETS permitiendo a los expertos estructurar el conocimiento de forma jerárquica.

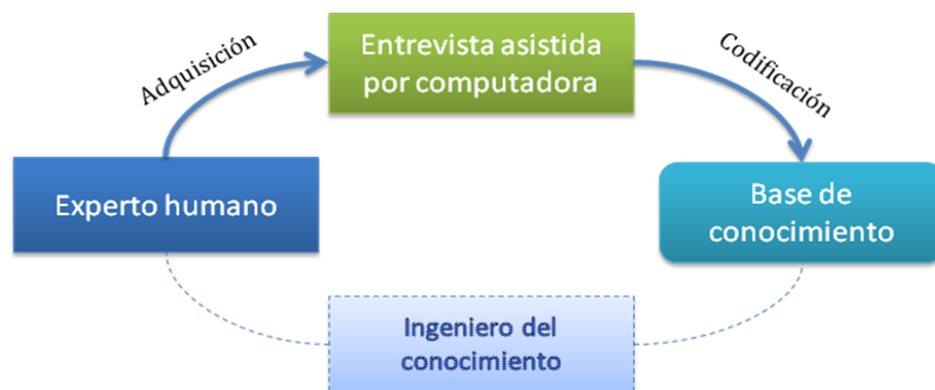


Figura 16 Métodos semiautomáticos de la Adquisición del conocimiento¹¹

2. Los que dan **soporte al Ingeniero de conocimiento** [Turban, 1992]. Son métodos que pretenden ayudar a los ingenieros de conocimiento a ejecutar las tareas necesarias de una manera eficiente y efectiva, a veces sólo con una mínima participación de un experto humano, pero cabe mencionar que siempre se requiere del experto humano y del Ingeniero de conocimiento. En este tipo de métodos el Ingeniero de conocimiento lleva a cabo una serie de actividades:
 - Asesorar al experto humano sobre el proceso interactivo de la Adquisición del conocimiento.
 - Manejar adecuadamente las herramientas interactivas para la Adquisición del conocimiento

¹¹ "Expert Systems and Applied Artificial Intelligence". Efraim Turban. Macmillan Publishing Company, New York, 1992. Capítulo 4. Adquisición y Validación del Conocimiento sección 4.5 Métodos de Adquisición del Conocimiento: Una visión general. Pág. 131.



SISTEMA EXPERTO PARA LA INTERPRETACIÓN MAMOGRÁFICA

Ingeniería del conocimiento



- Editar la codificación y decodificación de la Base de conocimiento, en colaboración con el experto.
- Manejar las herramientas de codificación del conocimiento.
- Validar la aplicación en la Base de conocimiento en colaboración con el experto humano.
- Instruir a los usuarios para el uso efectivo de la Base de conocimiento, en colaboración con el experto humano.

Varios tipos de herramientas pueden ser desarrolladas para dar soporte al proceso de adquisición del conocimiento, por ello, a continuación se muestran algunas de las más representativas: [Turban, 1992]

- Editores e Interfaces, el uso de un editor de textos o un editor especial de Bases de conocimiento puede facilitar la tarea de agregar conocimiento en el sistema y disminuye la probabilidad de errores. Un buen editor proporciona una Interfaz de usuario flexible que facilita la introducción de instrucciones y despliega información convenientemente.
- Facilidad de explicación, se refiere a la explicación proporcionada por el subsistema de explicación, el cual, además de proporcionar ayuda al usuario, ayuda al Ingeniero de conocimiento y al experto humano, para refinar y mejorar la Base de conocimiento. Además de los dispositivos de propósito general, existen medios construidos para facilitar la explicación que pueden rastrear la cadena de razonamiento cuando esta ha sido completada.
- Revisión de la Base de conocimiento, los cambios hechos en la Base de conocimiento pueden hacerse por medio de la selección de una revisión adecuada de un conjunto de posibilidades. Para evitar la introducción de nuevos errores en el software o inconsistencias con la Base de conocimiento, se recurre a la ayuda de un comprobador de la coherencia semántica o bien, se aplican pruebas automatizadas.
- Adquisición del conocimiento y Sistema de Documentación (KADS), estas técnicas plantean ayudar al Ingeniero de conocimiento en la adquisición, estructura, análisis y documentación del conocimiento del experto humano tomando como apoyo los fundamentos de la ingeniería de software. Es sabido que KADS logra gran éxito para aumentar la productividad del Ingeniero de conocimiento.
- Font-end Tools, el conocimiento necesita ser codificado de una forma específica con herramientas basadas en conocimiento. En un intento para automatizar dicha codificación se han desarrollado varias herramientas como Knowledge Analysis Tool (KAT) que convierte el conocimiento en un formato específico de reglas de otra herramienta llamada Level5, o NEXTRA que es una herramienta similar.

3.2.2.3 Automatizados

En este tipo de métodos, tanto el rol del experto humano como el del Ingeniero de conocimiento son minimizados e inclusive eliminados. Por ejemplo, el método de inducción (Ver Figura 17) puede ser administrado por algún constructor (analista de sistemas).

Los métodos automatizados, han sido desarrollados para cumplir con los siguientes objetivos:

- Incrementar la productividad de la ingeniería del conocimiento.
- Reducir el nivel de habilidad que requiere el Ingeniero de conocimiento.
- Eliminar (o reducen drásticamente) la necesidad de contar con un experto humano.
- Eliminar (o reducen drásticamente) la necesidad de contar con un Ingeniero de conocimiento.
- Incrementar la calidad del conocimiento adquirido.



SISTEMA EXPERTO PARA LA INTERPRETACIÓN MAMOGRAFICA

Ingeniería del conocimiento



Por medio de los métodos automatizados, el conocimiento se obtiene por inducción: [Turban, 1992]

- **Inducción automatizada de reglas**, se le llama inducción al proceso de razonamiento partiendo de lo específico hacia lo general, en el ámbito de los SE la inducción se refiere al proceso en el cual las reglas son generadas por un programa de computadora. Un sistema de inducción para generar reglas está dado por ejemplos de un problema cuyo resultado es conocido. Cuando al sistema se le han dado varios ejemplos, el estado del sistema de inducción puede crear reglas que se ajusten a los casos de ejemplo. Los métodos de inducción usan varios algoritmos para convertir una matriz de conocimiento de atributos, valores y selecciones a reglas. Tales algoritmos pueden variar respecto a los métodos estadísticos a las redes neuronales. El algoritmo más popular es el ID3 que primero convierte la matriz de conocimiento en un árbol de decisión. Los atributos irrelevantes son eliminados y los atributos relevantes son organizados de una manera eficiente.

Algunas de las ventajas de los sistemas de inducción para generar reglas son:

- Permiten que los SE sean usados en campos más complicados y mejor remunerados.
- El constructor no tiene que ser el Ingeniero de conocimiento, puede ser el experto humano o el analista.
- Ofrece la posibilidad de deducir nuevo conocimiento.
- Una regla de inducción aumenta el proceso de pensamiento del experto humano, ya que algunas reglas son generadas, revisadas y modificadas, por los expertos humanos.

A pesar de las ventajas mencionadas, existen varias dificultades con la implementación de este método de inducción de reglas:

- Algunos programas de inducción pueden generar reglas que son difíciles de entender por un humano, ya que la forma en la cual se clasifican los atributos y propiedades de los problemas, no es acorde a la forma en la que un humano lo haría.
- Los programas de inducción para generar reglas no seleccionan los atributos, por lo que un experto humano tiene que estar disponible para especificar cuáles son los atributos más significativos.
- El proceso de búsqueda en la inducción de reglas está basado en algoritmos especiales que generan árboles de decisión eficientes, lo cual reduce el número de preguntas que pueden ser hechas antes de encontrar una solución, sin embargo, muchos de estos algoritmos varían en sus procesos y capacidades, por lo que no podrían manejar una gran cantidad de reglas.
- El método es bueno sólo para problemas basados en reglas.
- El número de atributos de los objetos que generan las reglas debe ser muy pequeños.
- El número de ejemplos necesarios puede ser muy grande.
- El método es limitado para situaciones con certeza (determinísticos).

Por estas desventajas que presenta, los métodos de inducción de reglas, se usan frecuentemente para generar un primer prototipo del SE.



Figura 17 Métodos automatizados de Adquisición del conocimiento¹²

¹² "Expert Systems and Applied Artificial Intelligence". Efraim Turban. Macmillan Publishing Company, New York, 1992. Capítulo 4. Adquisición y Validación del Conocimiento sección 4.5 Métodos de Adquisición del Conocimiento: Una visión general. Pág. 131.



SISTEMA EXPERTO PARA LA INTERPRETACIÓN MAMOGRAFICA

Ingeniería del conocimiento



- **Aprendizaje por computadora** (Aprendizaje automatizado), las computadoras están aprendiendo a aprender, mediante programas heurísticos y adaptables que, permiten a las máquinas aprender de la experiencia. Cualquier sistema de aprendizaje está relacionado con la adquisición del conocimientos y su almacenamiento por medio de alguna una representación. En las computadoras, la forma en que los conocimientos se memorizan afecta directamente al modo en el que se da el aprendizaje y si éste se lleva a cabo o no. (Consultar sección 2.8.6)

3.3 Representación del conocimiento

La **Representación del conocimiento** es un campo que se refiere a los mecanismos para representar y manipular información de diferentes fuentes o conocimiento los cuales convergen en esquemas de representación que deben permitir una búsqueda o realizar una operación eficiente del Motor de inferencia. Debido a que el conocimiento es importante y fundamental para el comportamiento inteligente la Representación del conocimiento ha llegado a convertirse en una de las líneas de investigación más importantes de la IA.

El conocimiento en un SE puede representarse de varias maneras, mediante la utilización de símbolos, reglas de producción, objetos, procedimientos, marcos, guiones, redes semánticas y predicados, sin embargo, la forma más inmediata de representar el conocimiento para la manipulación computacional, es mediante símbolos.

La existencia de diferentes tipos de conocimiento que van desde hechos simples, hasta complejas relaciones, fórmulas matemáticas o reglas que siguen la sintaxis del lenguaje natural, asociaciones entre conceptos relacionados, inferencias y deducciones o el establecimiento de jerarquías entre clases de objetos, hace necesario que para su representación y manipulación, los requerimientos cambien y por ello, la elección de la forma de de Representación del conocimiento es una actividad muy importante puesto que facilita la interpretación del mismo por parte del Ingeniero de conocimiento y el manejo por medio de las máquinas, además la eficiencia del sistema depende del método elegido.

La Representación del conocimiento comprende:

- La estructura usada para describir los elementos del conocimiento.
- El proceso interpretativo requerido para usar el conocimiento descrito.

La buena selección de la Representación del conocimiento, se basa en el cumplimiento de los siguientes puntos:

- Sencilla. Fácil de modificar y manipular por procedimientos manuales o mediante técnicas automáticas.
- Fácil de modificar. Permitir la incorporación de nuevo conocimiento de forma sencilla.
- Transparente. Facilitar la detección de incoherencias y faltas de consistencia.
- Independiente. Facilitar la reutilización de sentencias, procedimientos, etc. Así como permitir, la inclusión, modificación o exclusión de una unidad de conocimiento sin que afecte al resto de la Base de conocimiento ni al resto del SE.
- Relacional. Permita establecer relaciones entre los conocimientos.

Por otra parte en un SE, el conocimiento representado debe tener las siguientes características que mejoran la eficiencia:

- Seguro. El conocimiento almacenado debe ser aplicable y correcto.
- No redundante. Se deben eliminar las alternativas de solución que lleven al sistema a un “callejón sin salida”, es decir, a ninguna solución.
- Consistente. No contradictorio. Se deben eliminar las opciones que lleven al sistema a soluciones opuestas.



SISTEMA EXPERTO PARA LA INTERPRETACIÓN MAMOGRAFICA

Ingeniería del conocimiento



- Completo. Exhaustivo; cualquier problema referente al dominio acotado se debe poder resolver, por lo que se hace necesaria la consideración de la existencia de varias fuentes de conocimiento y un razonamiento a varios niveles de abstracción.

3.3.1 Niveles de Representación del conocimiento

El conocimiento puede ser representado en diferentes niveles de detalle, los más comunes y extremos son conocimiento superficial y conocimiento profundo.

El **conocimiento superficial** se refiere a la Representación del conocimiento en un nivel poco profundo para tratar con situaciones específicas. Dentro de esta clase de conocimiento se encuentran los niveles más inferiores que forman parte de los bloques básicos de construcción en los que se basa el dominio del experto humano llamados “principios primarios”. A partir de estos principios primarios se desarrollan otros principios más específicos, teoremas y reglas de acción, a este proceso se le llama síntesis, se parte de conocimientos de bajo nivel hacia elementos más comprensivos. Por ejemplo, si un automóvil no tiene gasolina, el automóvil no enciende. Este conocimiento puede ser visto como una regla:

Si el tanque de gasolina está vacío ENTONCES el automóvil no va a encender.

El conocimiento superficial representa la relación entrada-salida de un sistema, como tal, puede ser idealmente presentado en términos de reglas del tipo IF-THEN, en cuyo caso, el conocimiento superficial es limitado. Un sistema de reglas por lo mismo, puede tener un significado insuficiente para el usuario. Lo que está relacionado con la manera en la cual un experto humano ve el dominio y resuelve problema. Eso puede limitar la habilidad del sistema, por ejemplo, para proporcionar una correcta explicación al usuario. El conocimiento superficial también puede ser insuficiente en la descripción de situaciones complejas y no es útil cuando se aplica directamente, por lo tanto, la representación de conocimiento profundo es requerida.

El **conocimiento profundo** en el que se basa la solución de problemas humanos, se refiere a la estructura interna y causal de un sistema y considera la interacción entre los componentes del sistema. El conocimiento profundo puede ser aplicado en diferentes tareas y situaciones, Se basa en la integración coherente de la consciencia humana que incluye ideas, sentido común, intuición, etc. Este tipo de conocimiento es difícil de computarizar.

Es posible, sin embargo, implementar una representación computarizada, que es más profunda que la del conocimiento superficial. Para entender un poco más a cerca de esto, se puede retomar el ejemplo anterior sobre el automóvil, en cuyo caso, para la ejemplificación del conocimiento profundo es necesario investigar un poco más sobre de la relación de la gasolina con el automóvil y su funcionamiento, para representar esta relación se utilizan métodos como redes semánticas o marcos (frames), mismos que permiten implementar un nivel profundo de razonamiento tal como la abstracción y la analogía, actividades presentes en el experto humano.

La flexibilidad del conocimiento disminuye al aumentar el nivel de representación, es decir si solamente se tiene conocimiento de alto nivel en un SE, no habría forma de responder a una situación nueva e inesperada, ya que la repuesta requiere de razonamiento basado en niveles más bajos de conocimiento. Así, el conocimiento de alto nivel es poderoso pero inflexible y el conocimiento de bajo nivel es más flexible pero menos poderoso. En la práctica, un experto humano está posibilitado para enfrentar problemas aplicando los conocimientos basados en la experiencia (alto nivel) o bien para razonar partiendo de conocimientos básicos (bajo nivel).



SISTEMA EXPERTO PARA LA INTERPRETACIÓN MAMOGRAFICA *Ingeniería del conocimiento*



3.3.2 Modelos de Representación del conocimiento

Un **modelo de Representación del conocimiento** es cualquier estructura de trabajo, en la cual se puede almacenar y recuperar cualquier información acerca del mundo.

Tradicionalmente, la manipulación de datos y los Sistemas para el Manejo de Bases de Datos (SMBD) surgieron como una forma de controlar los datos en una organización. Por su parte, la investigación en Bases de datos dio como resultado el desarrollo de varios modelos básicos, en respuesta a necesidades como las siguientes:

- Compartir información entre varios usuarios.
- Evitar redundancia e inconsistencia en los datos.
- Mantener en forma eficiente grandes volúmenes de datos.
- Incrementar la confiabilidad de los datos a través de la formación de mecanismos de integridad.

Estos modelos básicos permitieron organizar los datos en una forma rigurosa y bien definida, dichos modelos son:

- Modelo jerárquico, los datos se encuentran organizados en una estructura de árbol.
- Modelo de red, los datos están interconectados mediante ligas que forman gráficas dirigidas.
- Modelo relacional, los datos se organizan en tablas.

Dado que se ha incrementado la demanda de sistemas orientados a los usuarios (casuales y experimentados), se han desarrollado nuevas tendencias, entre ellas, la incorporación de más semántica en los modelos de las Bases de datos y el desarrollo de mejores y más amigables interfaces de usuario, que contribuyan a una mejor organización de los datos, en esta última tendencia, los modelos de Bases de datos han incluido el metaconocimiento, es decir información en la Base de datos sobre la misma Base de datos.

Como resultado de la inclusión las tendencias mencionadas en las Bases de datos, los SMBD son más inteligentes y es aquí cuando los investigadores en Bases de datos han empezado a reconocer: el enlace natural existente entre las Bases de datos y las Bases de conocimiento y el aprovechamiento de los dos modelos generales de la Representación del conocimiento identificados en la IA, los cuales son:

1. Representación procedural
2. Representación declarativa

A continuación se explicarán las características de cada una.

3.3.2.1 Representación procedural

El modelo procedural se refiere a la representación de forma implícita del conocimiento de un problema en una serie de procedimientos enunciados mediante sentencias en un determinado lenguaje de programación. Este modelo hace énfasis en lo directo de la línea de inferencias hechas por un sistema (usando heurística para dominios específicos y evitando así razonamientos irrelevantes) y en la facilidad de codificación y entendimiento del propio proceso de razonamiento.

El código procedural contiene secuencias de operaciones para usar y manipular hechos (constantes o variables acotadas), por lo que si se parte de que las estructuras de datos y los objetos son formas de modelar un problema (sistema) y la forma de dar solución al problema es una Representación del conocimiento, entonces los programas escritos haciendo uso de los lenguajes de programación como Java, C++, Visual Basic, etc. son ejemplos de la representación procedural. El conocimiento sobre cómo procesar los datos, está dentro de las estructuras de control por lo que el conocimiento y su manipulación están estrechamente ligados, no pueden separarse ni delimitar sus significados, es entonces cuando entra en juego el modelo declarativo.



SISTEMA EXPERTO PARA LA INTERPRETACIÓN MAMOGRAFICA

Ingeniería del conocimiento



El modelo procedural tiene las siguientes ventajas:

- Es fácil representar el conocimiento.
- Es fácil representar conocimiento que no se ajusta a la mayoría de los esquemas declarativos simples (por ejemplo, raciocinios probabilísticos).
- Es fácil representar el conocimiento heurístico de cómo hacer las cosas eficientemente.

Dentro de los modelos de representación procedurales, se encuentran los programas y los autómatas finitos. (Ver Figura 18)

3.3.2.2 Representación declarativa

En el modelo declarativo, el conocimiento es expresado en forma de hechos, reglas y relaciones de forma independiente a su manipulación y procesamiento, es decir, se formalizan los procedimientos separándolos del conocimiento, como en los SE.

El modelo declarativo es útil cuando la lógica del proceso no está bien definida, es decir, cuando el programa no está respaldado por una teoría y un método de resolución comprobados, por lo tanto no se llega a la solución mediante un proceso sistemático, entonces, se dice que existe incertidumbre o ambigüedad, en este caso no existe un conocimiento tan refinado que permita construir un proceso sistemático para obtener la solución, es necesario la utilización de una estructura que permita representar “conocimiento variable”, en la cual se puedan ensayar varias opciones para llegar a la solución de problema.

El conocimiento declarativo necesita ser procesado por código procedural, por lo que la computadora seguirá una serie de instrucciones secuenciales para procesar este conocimiento.

El modelo declarativo presenta las siguientes ventajas:

- Cada hecho es almacenado una sola vez, sin importar el número de veces que pueda ser usado.
- Si el conocimiento es representado explícita y separadamente, es más fácil modificarlo o ampliarlo por lo que es fácil agregar nuevos hechos al sistema sin cambiar otros hechos o procedimientos previos.
- Con la separación de la lógica de control y los algoritmos de razonamiento del conocimiento, el resultado es la optimización del código en una aplicación y la reutilización de la información.

Entre los modelos de representación declarativos podemos ubicar a la lógica simbólica (lógica proposicional y lógica de predicados), a las redes semánticas y a los Sistemas Basados en Reglas de Producción (SBRP) y la combinación de la representación procedural y declarativa, es la base para la generación modelos de representación mixtos en los cuales se ubican los marcos y los guiones. (Ver Figura 18)



SISTEMA EXPERTO PARA LA INTERPRETACIÓN MAMOGRÁFICA

Ingeniería del conocimiento



Figura 18 Esquemas de Representación del conocimiento

3.3.3 Representación formal del conocimiento

La **lógica formal** es la primera y más antigua aproximación a la representación de conocimiento empleada en IA. Es un lenguaje que tiene su propia sintaxis y define la forma de expresar sentencias para alcanzar su significado.

3.3.3.1 Lógica proposicional

La forma más básica de la representación formal del conocimiento es la booleana o proposicional, en la cual cada proposición o hecho es representado por un símbolo y se evalúa su verdad (V) o su falsedad (F). Como resultado de la evaluación de una proposición sencilla o compuesta, se pueden generar las tablas de verdad.

Las sentencias son Fórmulas Bien Definidas (FBD) se construyen usando los símbolos (p, q, r,...) y una serie de operadores lógicos o conectivos booleanos como:

Conjunción	denotada por	AND, \wedge , Y
Disyunción	denotada por	OR, \vee , O
Negación	denotada por	NOT, \sim , NO
Implicación	denotada por	IF-THEN, \rightarrow , a implica b
Equivalencia	denotada por	IF-AND-ONLY-IF, \equiv

Esta sintaxis aparentemente simple permite formular proposiciones un poco más sofisticadas como:
 $a \wedge b \rightarrow c$ (a y b) implican c

El mecanismo de inferencia utilizado en la lógica proposicional, se basa en las siguientes reglas donde los símbolos A, B y C representan fórmulas: [Obregón Sánchez & Marcellin Jacques, 1992]

- Modus Ponens: dado A, $A \rightarrow B$, deriva B
- Modus Tollens: dado $\sim B$, $A \rightarrow B$, deriva $\sim A$
- Silogismo Hipotético: dado $A \rightarrow B$, y $B \rightarrow C$, deriva $A \rightarrow C$
- Silogismo Disyuntivo: dado $A \vee B$, y $\sim A$, deriva B
- Conjunción: dado A y B deriva $A \wedge B$
- Adición: dado A o B deriva $A \vee B$



SISTEMA EXPERTO PARA LA INTERPRETACIÓN MAMOGRAFICA *Ingeniería del conocimiento*



3.3.3.2 Lógica de predicados

También llamada **lógica de predicados** de primer orden. Se define como el *sistema de lógica formal más ampliamente empleado, consiste en cuatro componentes principales: un alfabeto, un lenguaje formal, un conjunto de enunciados básicos llamados axiomas y un conjunto de reglas de inferencia*. Es una extensión de la lógica proposicional e incluye elementos para tratar con razonamientos en los que están involucradas las propiedades de los individuos y las relaciones entre ellos. [Rolston, 1991]

La lógica de predicados se refiere a la forma en la que la lógica se relaciona con la forma de las frases lógicas más que con su significado, es decir, está relacionado con la sintaxis más que con la semántica de dichas las frases.

Alfabeto. En el caso de un lenguaje formal, el alfabeto está conformado por los símbolos que construyen los enunciados, entre los que se encuentran:

- **Constantes:** son los elementos más simples en la lógica de predicados, se usan para representar un elemento específico del dominio. Puede ser cualquier objeto de intereses (físicos o abstractos como ideas y puntos de vista). Se simbolizan con letras mayúsculas.
- **Variables:** se emplean para representar un conjunto de elementos del dominio sin especificar algún elemento en concreto. Para un símbolo de variable se emplea un conjunto de minúsculas.
- **Funciones:** se emplean para identificar elementos del dominio. Describe un elemento identificándolo como el resultado único de la aplicación de una transformación entre otros elementos del dominio. Se usan letras minúsculas para representarlas y los argumentos pueden ser cualquier término válido.

Es importante mencionar, que mientras el resultado de evaluar una función da como resultado un elemento del universo, la evaluación de un predicado en la lógica binaria es verdadera o falsa.

- **Predicados:** se emplean para representar relaciones dentro del dominio e indican que un elemento se relaciona en alguna otra forma específica, además se emplean para conformar fórmulas atómicas. Tiene un valor de verdadero si los elementos dados están relacionados de modo específico y de falso si no lo están.
- **Operadores lógicos:** para expresar proposiciones compuestas se emplean operadores lógicos que combinan fórmulas para construir FBD más complejas. Entre los operadores lógicos de uso común, se encuentran: conjunción (\wedge , Y, AND), disyunción (\vee , O, OR), negación (\sim , NO, NOT), implicación (\rightarrow , p implica q) y equivalencia (\equiv).
- **Cuantificadores:** se emplean para conformar hechos simples. Incluyen los cuantificadores existenciales (\exists , Existe) y universales (\forall , Para todo).

Lenguaje formal. Es el conjunto de todas las sentencias o fórmulas que se pueden construir legalmente a partir del alfabeto, estas fórmulas reciben el nombre de Fórmulas Bien Definidas (FBD) y se definen así:

1. Una fórmula atómica es una FBD
2. Las siguientes son FBD ($\sim F$), ($F \wedge G$), ($F \vee G$), ($F \rightarrow G$) en donde F y G son FBD
3. Las siguientes son FBD ($\forall x F$) y ($\exists x F$) donde F es una FBD y x es una variable.

A partir de la definición de un lenguaje formal, se puede construir un sistema axiomático mediante la definición de axiomas y reglas de inferencia. Así, el mecanismo de inferencias que utiliza la lógica de predicados está basado en las reglas definidas en la lógica proposicional y las reglas que manejan los cuantificadores.

Un ejemplo de sistemas que usan la representación mediante lógica de predicados es el sistema SIR.



SISTEMA EXPERTO PARA LA INTERPRETACIÓN MAMOGRAFICA *Ingeniería del conocimiento*



Si se emplea lógica formal es necesario considerar los siguientes puntos:

- Desarrollar una comprensión del conocimiento.
- Formular el conocimiento como enunciados en español.
- Separar los enunciados en sus partes elementales.
- Escoger los símbolos para representar los elementos y relaciones en cada componente.
- Construir la FBD empleando los símbolos anteriores.

3.3.4 Representación no formal del conocimiento

A continuación se explican diferentes esquemas de representación del conocimiento que son menos formales que la lógica de predicados.

3.3.4.1 Sistemas basados en reglas de producción

“El principio básico de la programación con reglas de producción es que cada regla es un trozo independiente del conocimiento (se le llama módulo), es decir, contiene todas las condiciones para su aplicación”. Una regla puede traducir una relación, una información semántica o una acción condicional. [González Pérez, 1995]

En los SE y otros sistemas basados en conocimiento, el método más utilizado y popular para representar el conocimiento es a través de reglas de producción. Los sistemas que utilizan este método de Representación del conocimiento se les conoce como Sistemas Basados en Reglas de Producción (SBRP). Fueron usados primero en lógica simbólica por Post (1943) quien comprobó la importancia de representar mediante un sistema de reglas de producción, cualquier sistema de matemáticas o lógica.

También en la lingüística por Chomsky (1957) se utilizan reglas de reestructuración en el reconocimiento sintáctico de frases de lenguaje natural.

Características y componentes de los SBRP

Una de las características sobresalientes de los SBRP es su potencialidad de aprendizaje, es decir, que a partir de una Base de conocimiento inicial, el sistema es capaz de generar o simplificar las reglas de inferencia que rigen su comportamiento, esto último no lo hace en automático.

Un SBRP está compuesto por *reglas de producción* que se definen como un par ordenado (A, B) que puede representarse en el lenguaje de la lógica proposicional como $A \rightarrow B$. Una regla de producción es una estructura del tipo:

SI <antecedente> ENTONCES <consecuente>

En donde el *antecedente* (parte izquierda) es el conjunto de condiciones o premisas y el *consecuente* (parte derecha) contiene la conclusión, acción o consecuencia resultante si las premisas son satisfechas, como:

Si la luz es roja ENTONCES deténgase

Si existe el hecho de que la luz sea roja, esto concuerda con el patrón “la luz es roja”, la regla se satisfizo y se ejecuta la acción “deténgase”.



SISTEMA EXPERTO PARA LA INTERPRETACIÓN MAMOGRAFICA *Ingeniería del conocimiento*



Antecedente

Está compuesto por una o varias proposiciones, mismas que se combinan por medio de operadores lógicos, para formar una premisa o condición más compleja. Los operadores lógicos clásicos de la lógica proposicional son:

- **Conjunción (AND).** Representa la condición del cumplimiento de dos proposiciones, se cumple cuando las dos condiciones son verdaderas.
- **Disyunción inclusiva (OR).** Representa la alternativa entre dos proposiciones, se cumple cuando alguna de las proposiciones es verdadera.
- **Disyunción exclusiva (XOR).** Representa también, la alternativa dos proposiciones, se cumple cuando una y sólo una de las condiciones es verdadera.
- **Negación (NOT).** Representa el cumplimiento de lo opuesto que se esté expresando.

Consecuente

El consecuente está formado por una proposición simple. Los resultados o conclusiones obtenidos en esta parte de la regla de producción, pueden estar asociados a un hecho, el cual exprese el nivel de confianza del SE con la cual se llega a dicho resultado o conclusión, en el caso de que el antecedente haya sido satisfecho.

Proceso de inferencia en un SBRP

En un SBRP el proceso de inferencia opera en dos fases: [Obregón Sánchez & Marcellin Jacques, 1992]

- **Fase de reconocimiento.** En esta fase se llevan a cabo las siguientes actividades:
 - Selección de reglas pertinentes. Depende de la situación en curso de tratamiento, del tipo de encadenamiento (hacia adelante o hacia atrás).
 - Resolver el conflicto de resolución cuando existe más de una regla aplicable a través de la aplicación de criterios como:
 - Establecimiento del orden en los datos.
 - Clasificación de las reglas por prioridad de ejecución.
 - Ejecución de la regla instanciada más recientemente.
 - Aplicación metareglas.
- **Fase de acción.** En esta fase se ejecutan las acciones establecidas por las reglas durante el proceso de reconocimiento.

Los SBRP permiten representar conocimientos de forma modular y uniforme, son especialmente útiles en los casos en los cuales se detecta y se maneja una gran cantidad de estados independientes y sistemas con objetivos amplios, acciones de corto alcance y toma de decisiones súbitas. Actualmente la mayoría de los SE utilizan este modelo de Representación del conocimiento.

3.3.4.1.1 Algoritmo Rete

El siguiente paso en la aplicación de SBRP lo encontramos en los algoritmos de Markov concebidos como una estructura de control para los sistemas de producción usados como base de un SE pero poco eficaz para un sistema con muchas reglas (debido a que si no se satisfacen las reglas de mayor prioridad se efectúa una búsqueda en las reglas de menor prioridad). Con la finalidad de mejorar la eficiencia en la solución problemas resultantes del emparejamiento de reglas en el Motor de inferencias, Charles L. Forgy desarrolló el **algoritmo Rete** en 1979, que es un rápido igualador de patrones, para el proceso de apareamiento ("match"), obtiene su velocidad del almacenamiento de información sobre las reglas de una red, es decir, compara los hechos con los patrones de reglas y determina cuales de ellas han satisfecho sus condiciones, es usado en herramientas como



SISTEMA EXPERTO PARA LA INTERPRETACIÓN MAMOGRAFICA

Ingeniería del conocimiento



CLIPS, JESS, ART, OPS5 y OPS83. Cada sistema ha incrementado y refinado dicho algoritmo para mejorar el desempeño o flexibilidad.

Al contrario de cualquier ciclo-acto de reconocimiento, en el cual se tienen que igualar los hechos con todas las reglas en cualquier ciclo-acto reconocimiento, el algoritmo Rete sólo busca los cambios en las correspondencias de cada ciclo, esto acelera en gran medida la correspondencia de los hechos con los antecedentes pues los datos estáticos que no cambiaron de un ciclo a otro pueden pasarse por alto.

Posee características específicas como:

- El disparo de una regla produce, generalmente, pocos cambios en la Memoria de trabajo.
- Un mismo patrón suele utilizarse en varias reglas.
- Construye y mantiene el grafo Rete enraizado, dirigido y acíclico:
 - Nodos: Representan patrones de hechos (menos la raíz)
 - Caminos: Representan las condiciones de una regla (desde la raíz)
- Cada nodo contiene información acerca de los hechos que emparejan con los patrones de los nodos desde la raíz, junto con las asociaciones necesarias de las distintas variables.

3.3.4.2 Redes semánticas

Una red semántica, también llamada red asociativa, se basa en la representación gráfica de las relaciones entre los elementos de un dominio, los componentes básicos son los nodos y los enlaces (Ver Figura 19). Los nodos son usados para representar elementos del dominio, un atributo, un estado, una entidad o un evento y gráficamente se muestran como rectángulos rotulados con los nombres de los elementos representados. Los enlaces (ligas o arcos) simbolizan las relaciones entre los elementos, la forma gráfica de ubicar un enlace es como un vector desde un nodo a otro, titulado con el nombre de las relaciones representadas. [Rolston, 1991]

Ese modelo de Representación del conocimiento declarativa (Consultar sección 3.3.2.2), fue introducido por Ross Quillian en 1968, originalmente fue desarrollado como un modelo psicológico de la memoria asociativa humana conocido como memoria semántica.

Las dos relaciones más empleadas en las redes semánticas son:

- ES-UN. Este enlace se emplea para representar el hecho de que un elemento es miembro de una clase de elementos que tienen un conjunto de propiedades distintivos, en común. Un nodo que representa una ilustración de una clase es una instancia (ejemplo) de la clase. Los conceptos de una clase y de un enlace ES-UN se utilizan también para representar situaciones, acciones y eventos.
- ES-SUBCONJUNTO.

El razonamiento con redes semánticas es directo puesto que las asociaciones se pueden hacer simplemente rastreando los enlaces en el sistema, a este mecanismo se le llama **propagación de la activación**. Desafortunadamente, ninguna regla semántica rigurosa guía tal razonamiento. La interpretación de las estructuras de la red depende solamente del programa que las manipula, es decir, que no existe ninguna convención del significado, por esta razón, las inferencias que se derivan de la manipulación de la red no son necesariamente válidas.

En las redes semánticas a diferencia de los sistemas tradicionales, el razonamiento procede sobre la base de manejos sintácticos uniformes de los símbolos de representación, es decir, podría considerarse la teoría y el modelo de redes semánticas como una teoría computacional del entendimiento verbal superficial en los humanos en la cual, los nodos serían estructuras usadas en conceptos verbales y las relaciones semánticas representarían el concepto lingüístico del pensamiento, ambos elementos describen eventos en lenguaje natural.



SISTEMA EXPERTO PARA LA INTERPRETACIÓN MAMOGRÁFICA

Ingeniería del conocimiento



La inferencia mediante el apareamiento es otra técnica de razonamiento usada en redes semánticas, se basa en la construcción de una fracción de red que es una mezcla de nodos con valores definidos y nodos cuyos valores se requieren pero son desconocidos.

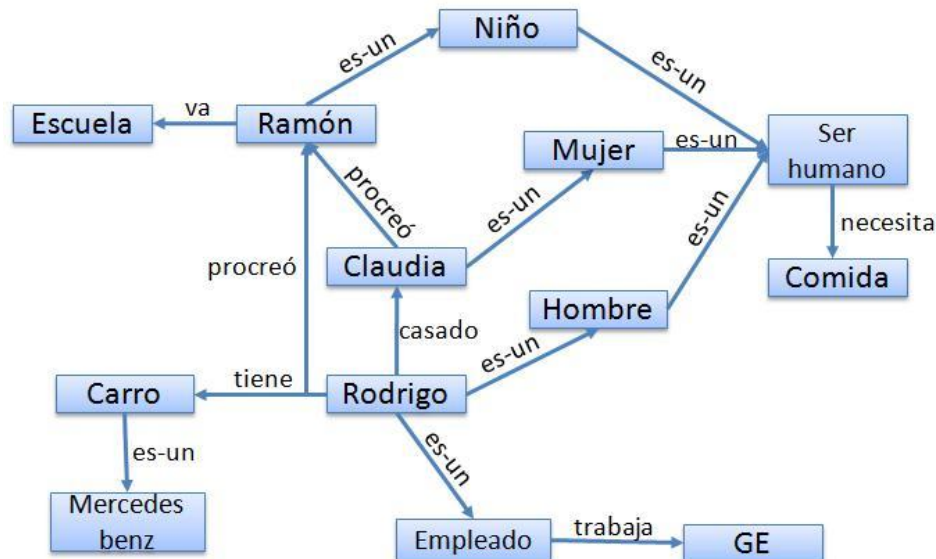


Figura 19 Ejemplo de una red semántica¹³

La **herencia** de propiedades establece que cualquier propiedad que sea emitida como verdadera para una clase de elementos, debería ser cierta para cualquier ejemplo de misma clase; las propiedades "van descendiendo" a niveles más bajos conectados a través de enlaces de herencia de propiedades. La herencia hace que las redes semánticas sean particular interés para representar dominios que se pueden estructurar como clasificaciones.

Una característica clave de las redes semánticas es que las asociaciones importantes se pueden hacer explícitamente, los hechos importantes sobre un objeto pueden ser inferidos de los nodos a los cuales están directamente relacionados, sin necesidad de buscar en grandes bases de datos. [Obregón Sánchez & Marcellin Jacques, 1992]

Un ejemplo de un sistema que utiliza redes semánticas como forma de Representación del conocimiento es PROSPECTOR. [Obregón Sánchez & Marcellin Jacques, 1992]

3.3.4.3 Marcos (frames)

El modelo de representación con marcos fue introducido por primera vez, por Minsky en 1975, un **marco** es una estructura de trabajo general para organizar el conocimiento, consiste en una colección de atributos que definen el estado de un objeto y su relación con otros objetos. Los atributos también son llamados **slots**, ranuras, casillas o campos y hacen referencia a los valores de los datos, son huecos para rellenar con valores y asociado a cada atributo puede haber un conjunto de condiciones que deben ser cumplidas.

Este modelo parte de que existen muchas posibilidades de que los seres humanos tienen la capacidad de interpretar nuevas situaciones sobre la Base del conocimiento lograda de experiencias en situaciones similares. Esta destreza posibilita que nuestro conocimiento crezca con cada experiencia en lugar de partir de condiciones iniciales en cada situación.

¹³ "Expert Systems and Applied Artificial Intelligence". Efraim Turban. Macmillan Publishing Company, New York, 1992. Capítulo 5. Representación del Conocimiento sección 5.4 Redes semánticas. Pág. 175.



SISTEMA EXPERTO PARA LA INTERPRETACIÓN MAMOGRAFICA

Ingeniería del conocimiento



Los marcos están organizados jerárquicamente, están conectados entre sí, estableciendo con ello, el mecanismo de herencia. Las características generales de un marco son: [Obregón Sánchez & Marcellin Jacques, 1992]

1. Cada objeto tiene asociado un conjunto de atributos que lo caracterizan.
2. Cada atributo tiene asociado un valor, el cual, puede ser otro objeto.
3. Los atributos-valor corresponden a:
 - El nombre de un procedimiento específico; ejecutable automáticamente o mediante un requerimiento.
 - Apuntadores a otro objeto.
 - Un valor calculado durante el proceso de ejecución.
 - Un valor asignado por omisión.
 - Una constante.
4. Los marcos pueden ser:
 - Clases, que representan conceptos o entidades generales.
 - Instancias, ejemplos particulares de las clases.

Los marcos se emplean para organizar nuestra comprensión básica de las cosas que típicamente son ciertas para algunas clases generales de elementos. Pero antes de que se pueda utilizar un marco, es necesario verificar que sea aplicable a la situación actual. Minsky propone que una parte de la evidencia sea usada para hacer una selección inicial del marco candidato, el marco se instancia creando una estructura específica que describa la situación actual, el marco debe contener algunos atributos como los estados y la estructura de control, con algunos valores asignados.

Los **estados** que puede presentar un marco están definidos por el sistema y son los siguientes:

- Activo: cuando se da el caso en el que se encuentra presente en la lista de hipótesis, para confirmarlo o eliminarlo
- Semiactivo: cuando las hipótesis sean sugeridas mediante varias alternativas, pero sin suficiente relevancia como para ser consideradas.
- Inactivos: cuando el objeto es eliminado o nunca es instanciado para ser considerado.

La **estructura de control** está determinada por el caso específico, pero algunos criterios seguidos son:

- Ordenar datos.
- Activar ciertas hipótesis asociadas a situaciones específicas.
- Ordenar las hipótesis.
- Verificar la hipótesis más importante.
- Instanciar la hipótesis ejecutada recientemente.

Los marcos al ser una forma de representación mediante objetos combina el aspecto procedural y declarativo.

Los marcos comparten varias características con las redes semánticas, ambas son estructuras de propósito general, en las cuales es posible representar conjuntos particulares de conocimiento dentro de un dominio específico. Así, un marco representa una clase de elementos y de manera equivalente un nodo de clase se emplea para representar tales elementos en una red semántica. Es común desarrollar redes en que los nodos sean marcos.

Un ejemplo de un sistema que utilizan marcos como modelo de Representación del conocimiento, es el sistema AM y el sistema GUS.



SISTEMA EXPERTO PARA LA INTERPRETACIÓN MAMOGRAFICA *Ingeniería del conocimiento*



3.3.4.4 Guiones (scripts)

Un **guión** es una estructura para la Representación del conocimiento que describe una secuencia repetida de eventos dentro de un contexto determinado formado por un conjunto de atributos y asociado a cada casilla puede haber información sobre el tipo de valores que puede contener, así como información sobre un tipo de valor que será usado en caso de que ninguna información esté disponible. [Obregón Sánchez & Marcellin Jacques, 1992]

El término de guión fue introducido por primera vez por Schank en su trabajo sobre la representación de la dependencia conceptual, en el área de la semiótica, investigó la representación de frases y las inferencias que podían realizarse en el proceso de comprensión. Sin embargo, una frase adquiere diferentes sentidos, dependiendo del contexto.

El guión tiene un papel especializado, por ello es posible determinar características en su estructura, estableciendo así la diferencia con los marcos. Un guión tiene escenas que sirven para reconocer situaciones, cada campo corresponde a un suceso y los campos-sucesos forman una secuencia. Los componentes más importantes de un guión son:

- Condiciones de entrada. En general, estas condiciones deben ser satisfechas antes de que los eventos descritos en el guión puedan ocurrir.
- Resultados. Son condiciones que se cumplen después de que los eventos descritos en el guión puedan ocurrir.
- Propiedades. Casillas que representan a los objetos involucrados en los eventos del guión. La presencia de estos elementos puede ser inferida aún cuando no sean mencionados explícitamente.
- Roles. Son casillas que representan a las personas implicadas en los eventos descritos en el guión al igual que las propiedades, los roles pueden ser inferidos aunque no se mencionen explícitamente.
- Rutas. Se llaman así a varias secuencias de eventos que pueden existir en un guión y que comparten varias escenas, mientras que las restantes pueden ser opcionales o concluyentes.
- Escenas. Es una secuencia determinada de eventos que ocurren, que están representados como dependencias conceptuales.

Los guiones son muy útiles por que en la vida real si se ajustan los patrones a las secuencias de los eventos, un guión representa una secuencia de acciones unidas entre sí por una relación de causalidad, en el sentido de que la realización de una de ellas permite que ocurra la siguiente.

Un ejemplo de un sistema que utilizan guiones como modelo de Representación del conocimiento, es el sistema ESPIA.



3.4 Incertidumbre

En muchos casos las soluciones de los problemas se conducen en presencia de la incertidumbre, la habilidad de enfrentar eficazmente los casos en los que ésta existe, es decir, cuando la información es incompleta, imprecisa y algunas veces no certera. La incertidumbre, es una de las capacidades más importantes del experto humano y que al mismo tiempo es más difícil reproducir en un SE.

Existen algunos dominios en los cuales se presenta el razonamiento en presencia de incertidumbre como: diagnóstico médico, predicción financiera, exploración minera-petrolera, interpretación de imágenes, reconocimiento de voz y análisis de datos: [Rolston, 1991]

- Conocimiento incierto. Frecuentemente el experto humano tiene sólo el conocimiento heurístico de algunos aspectos del dominio.
- Datos inciertos. Puede existir incertidumbre en los datos descritos por algún ambiente externo.
- Información incompleta. Es usual que se tengan que tomar decisiones con información incompleta.
- Azar. Algunos dominios tienen propiedades estocásticas, a pesar de que la información esté completa y el conocimiento sea cierto.

3.4.1 Causas de incertidumbre

La incertidumbre se encuentra en la información, en los datos, en el conocimiento y en la Representación del conocimiento, es común que se presenten situaciones como las siguientes:

- **Información:**
 - Incompleta (falta de análisis, falta de variables de campo en sistemas de control).
 - Poco confiable (medidores poco confiables, instrumentos imprecisos, análisis poco confiables).
 - Ruido, distorsión.
- **Conocimiento inexacto:**
 - Imprecisión en la formulación del conocimiento (ambigüedad en el significado de las reglas y hechos).
 - Conocimiento contradictorio.
 - Inferencias previas incorrectas (incertidumbre en cascada).
 - Manejo erróneo del conocimiento (errores humanos y errores de escritura).
- **Conocimiento incompleto:**
 - Casos en los cuales no es posible identificar todo el conocimiento importante.
 - El conocimiento sobre un dominio determinado, no está completo.
- **Representación del conocimiento:**
 - No adecuada (no se seleccionó la representación(es) idónea(s) para la aplicación).
 - Falta de poder descriptivo (las representaciones no permiten representar adecuadamente el conocimiento del dominio, como lo expresa el experto humano).



SISTEMA EXPERTO PARA LA INTERPRETACIÓN MAMOGRÁFICA

Ingeniería del conocimiento



3.4.2 Manejo de la incertidumbre

Existen diferentes esquemas para resolver el problema de la incertidumbre en los SE (Ver Figura 20), entre ellos se pueden mencionar: las Funciones de combinación para factores de certidumbre, el Teorema de Bayes, la teoría de Dempster-Shafer y la lógica difusa (borrosa), a continuación se ahonda en el tema de los factores de certeza.



Figura 20 Esquemas para el manejo de la incertidumbre

3.4.3 Funciones de combinación para factores de certeza

Se trata de una aproximación a la representación y tratamiento de la incertidumbre, utilizada inicialmente en el SE MYCIN ha sido utilizada en una gran variedad de SE basados en reglas, entre las aportaciones hechas por MYCIN a la evolución de los SE se encuentra justamente el manejo de la incertidumbre, en donde la Representación del conocimiento médico se realizó con la introducción de factores de certidumbre.

En esta aproximación, la incertidumbre es representada por medio de un valor numérico que expresa la medida de la confianza o seguridad del SE acerca de la conclusión alcanzada llamado factor o grado de certeza o certidumbre, valor de certidumbre, nivel de certidumbre o bien únicamente certidumbre. A cada regla se le asocia un factor de certeza el cual aporta una medida del grado en el cual las evidencias o hechos del antecedente de la regla apoyan la credibilidad de la hipótesis o conclusión, en el consecuente de la regla, dicho de una forma más sencilla, es la medida de la certeza que poseemos a cerca del cumplimiento de un hecho dado.

Los factores de certeza deben tener características especiales que permitan realizar ciertas operaciones combinatorias dentro de la Base de conocimiento para dar un diagnóstico. Para realizar estas combinaciones se hace uso de funciones de combinación, con la finalidad de producir una estimación final de la certidumbre de las conclusiones.

3.4.4 Descripción de factores de certeza

Un **factor de certeza** es un valor que expresa hasta que punto, basados en un conjunto de evidencias, debemos aceptar una conclusión determinada, es decir, es una cuantificación subjetiva del juicio y la intuición de un experto humano. De esta forma, si un factor de certeza tiene un valor de 1, dicho valor indica la certeza total y si el valor es -1 entonces indica la no certeza. [Rolston, 1991]



SISTEMA EXPERTO PARA LA INTERPRETACIÓN MAMOGRÁFICA

Ingeniería del conocimiento



Para cada regla en el sistema, el experto humano en el dominio asigna un factor de certeza, basándose en su conocimiento y experiencias pasadas. Dicho factor de certeza tiene los siguientes componentes:

- Factor de certeza FC: describe la credibilidad de la conclusión, dada la evidencia que se presenta por medio de las premisas o condiciones de la regla.
- Medida de creencia MC[c,e]: es un número que señala el grado al cual, la creencia que se tiene en una conclusión c se incrementa, basada en la presencia de la evidencia e. Si MC es igual a cero, la evidencia e falla para apoyar la conclusión c.
- Medida de creencia MD[c,e]: en una medida de no creencia, es un número que señala el grado al cual la evidencia e apoya la negación de la conclusión c en consideración. Por definición: $0 \leq MD [c,e] \leq 1$. Si MD es cero, entonces la evidencia e apoya la conclusión c.

En un sistema que emplea factores de certeza, las reglas deben ser estructuradas de manera que dada cualquier regla o bien aumenta la creencia en una conclusión dada o incrementa la no creencia, por cualquier regla dada si $MC[c,e] > 0$, entonces $MD[c,e] = 0$ y si $MD[c,e] > 0$, entonces $MC[c,e] = 0$, es decir, una evidencia sólo puede apoyar o negar una conclusión pero no ambas cosas. Por lo anterior, el factor de certeza componente FC[c,e] puede describirse de manera formal como:

$$FC[c, e] = MC[c, e] - MD[c, e]$$

Donde: $c :: =$ es la conclusión en consideración y $e :: =$ es la evidencia relativa a c

Entonces, si FC adquiere los siguientes valores:

- 1 equivale a la afirmación de absoluta de que el hecho se cumple.
- -1 es equivalente a decir con certeza absoluta que el hecho no se cumple.
- 0 corresponde a decir que no se sabe si el hecho se cumple o no.

Es decir FC puede adquirir cualquier valor en el intervalo $[-1, 1]$, la parte positiva indica la afirmación de la conclusión y la parte negativa indica la negación del hecho, el grado en el cual se afirma o se niega un hecho corresponde al valor absoluto de FC.

Los FC de las reglas de producción que conforman la Base de conocimiento son dados por el experto humano en el dominio, mientras se escribe cada una, en tanto que, los FC asociados a los hechos o evidencias (del antecedente de las reglas) son aportados por el usuario en forma de datos iniciales en el caso del encadenamiento hacia adelante y con la respuesta a preguntas controladas por el sistema en el caso del encadenamiento hacia atrás o bien son obtenidos a partir de las conclusiones alcanzadas por otras reglas.

Capítulo 4 Cáncer de mama

- 4.1 Situación actual del Cáncer de Mama en México
- 4.2 Procedimiento general para diagnosticar Cáncer de Mama
- 4.3 Mamografía de detección y de diagnóstico para Cáncer de Mama
- 4.4 Breast Imaging Reporting and Data System (BIRADS)
- 4.5 Terminología básica



4 CÁNCER DE MAMA

4.1 Situación actual del Cáncer de Mama en México

En los últimos años se han hecho campañas de concientización sobre el riesgo de contraer Cáncer de Mama, así como de detección temprana de éste, y pese a los esfuerzos para desarrollar una mentalidad anticáncer y de alerta continua, en México según cifras proporcionadas por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) para el 2007, mueren a diario alrededor de 14 mujeres a causa de este devastador padecimiento, convirtiéndose así en la primera causa [INEGI, 2009] de muerte por tumores malignos en mujeres en edad reproductiva, es decir, representa el 13.5% del total de las defunciones en mujeres. (Ver Figura 21)

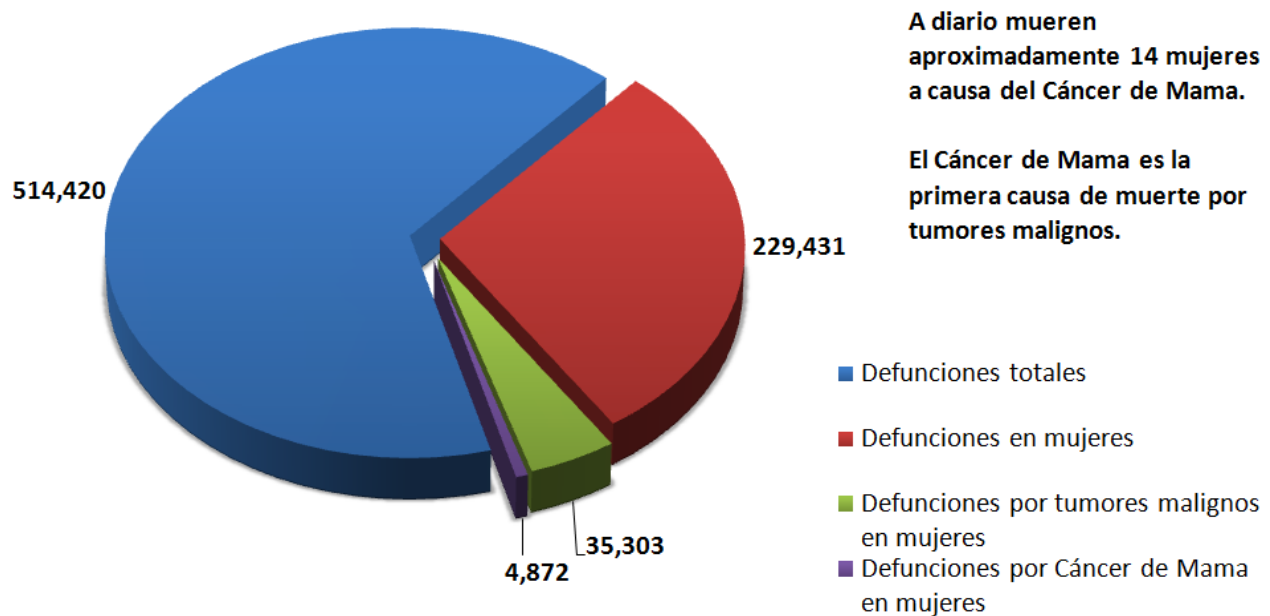


Figura 21 Defunciones en mujeres a causa del Cáncer de Mama en el 2007 INEGI ¹⁴

Las instituciones de salud están siendo rebasadas ante la creciente demanda de pacientes que padecen Cáncer de Mama, por lo que el diagnóstico certero y oportuno para las mujeres mexicanas aún sigue siendo un problema a resolver.

Desde hace algún tiempo, se ha tenido en mente la necesidad de establecer un diagnóstico temprano del Cáncer de Mama, y cabe preguntarse ¿por qué la mayoría de los casos de pacientes con este mal se encuentra en etapas muy avanzadas para cuando la probabilidad de curación es muy baja?, la respuesta es esta pregunta no es tan sencilla, debido a que en el diagnóstico del cáncer intervienen muchos factores complejos y poco conocidos.

El diagnóstico temprano del Cáncer de Mama, ha cobrado mucha importancia, ya que las muertes en mujeres se han incrementado en los últimos 30 años, al pasar del decimoquinto lugar nacional en el año 2000 al segundo en el 2006, ha superado en tan sólo dos años al Cáncer Cérvico-Uterino, por lo que en el año en

¹⁴ Imagen obtenida a partir de datos publicados por el INEGI. "Estadísticas a propósito del día mundial contra el cáncer. Datos Nacionales 2007". Requiere Microsoft Word. Datos disponibles en: <http://www.inegi.org.mx/inegi/default.aspx?c=2173&pred=1&s=inegi>



SISTEMA EXPERTO PARA LA INTERPRETACIÓN MAMOGRÁFICA Cáncer de Mama



curso, el Cáncer de Mama representa ya la primera causa de muerte entre mujeres mexicanas de 25 años y más, en 15 entidades federativas, y se prevé que continuará en aumento en los próximos años.[Notimex, 2008] (Ver Figura 22)

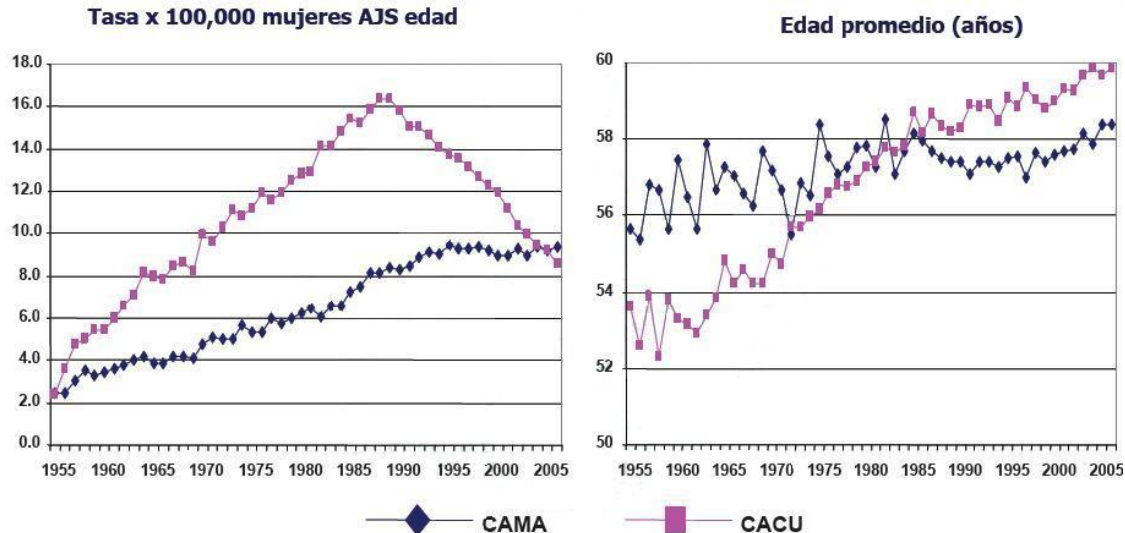


Figura 22 Mortalidad por tumores malignos de Mama y de Cuello de Útero en México 1955-2005 ¹⁵

Actualmente, la tasa de mortalidad por Cáncer de Mama indica un aumento constante: de 6.4 por 100,000 mujeres de 15 años y más para el año 1979, 13.16 por 100,000 mujeres de 25 años y más para el año 1990 y hasta 17.7 por 100,000 en el año 2002. El número de defunciones se incrementa a partir de los 40 años con mayor riesgo de morir aumenta conforme a la edad. El 22% de las muertes se presenta en mujeres de 40 a 49 años, 44% en las de 50 a 69 y 24% en las de 70 años y más, con una edad promedio al morir de 58.3 años de edad. [Viniegra Osorio, 2008]

4.2 Procedimiento general para diagnosticar Cáncer de Mama

4.2.1 Exámenes selectivos de detección

Los exámenes selectivos de detección son pruebas para detectar el cáncer antes de que haya síntomas y que se eligen según las características y preferencias del individuo, son muy importantes. Ayudan a los médicos a encontrar y tratar el cáncer a tiempo. Es más posible que el tratamiento sea efectivo cuando el cáncer se encuentra con anticipación. [Cáncer, 2008]

El doctor puede sugerir los siguientes exámenes selectivos de detección para buscar cáncer de mama:

- Mamografía
- La biopsia por aspiración
- Otros métodos auxiliares

¹⁵ "Reunión Ordinaria del Consejo Promotor Competitividad y Salud". Diapositiva 29. Publicado el: 26 de abril de 2008. Requiere de Acrobat Reader. Disponible en: <<http://www.funsalud.org.mx/competitividad/Primera%20reunion%202008%20CPCS%2014%20de%20abril%20web.pdf>>.



SISTEMA EXPERTO PARA LA INTERPRETACIÓN MAMOGRAFICA *Cáncer de Mama*



Mamografía

Para encontrar cáncer de mama temprano, el Instituto Nacional del Cáncer recomienda que:

- Las mujeres de 40 años y más deberán hacerse una mamografía cada uno o dos años.
- Las mujeres menores de 40 años y que tienen factores de riesgo de padecer cáncer de mama deberán preguntar a su doctor si es necesario hacerse mamografías y con qué frecuencia.

Examen clínico de mama

Durante un examen clínico de mama, el doctor revisa las mamas. Es posible que pida al paciente levantar sus brazos sobre su cabeza, que los deje colgar a los lados o que apriete sus manos contra las caderas.

El doctor se fija en la diferencia de tamaño o forma que haya entre los dos senos y revisa la piel de cada seno buscando alguna erupción, hoyuelos o señas anormales. Es posible que apriete los pezones para ver si hay algún fluido presente.

Usando las yemas de los dedos para sentir bultos, el doctor revisa todo el seno, la axila y el área de la clavícula. En general, un bulto necesita tener el tamaño de un guisante o chícharo para poder sentirse. El examen se hace primero en un lado luego en el otro. Puede revisar los ganglios linfáticos cerca de la mama para ver si están hinchados.

Autoexamen de mama

La paciente puede examinarse sus senos mensualmente para buscar cualquier cambio en ellos. Es importante recordar que los cambios pueden ocurrir a causa del envejecimiento, del ciclo menstrual, embarazo, menopausia o de tomar píldoras anticonceptivas u otras hormonas. Es normal que sus senos se sientan un poco abultados y desiguales. También, es común que estén hinchados y sensibles justo antes o durante el período menstrual.

4.2.2 Síntomas

Los síntomas comunes de cáncer de mama son:

- Un cambio en la forma como se siente el seno o el pezón
 - Un bulto o engrosamiento en el seno o cerca de él, o en la axila
 - Sensibilidad en el pezón
- Un cambio en la forma como se ve el seno o el pezón
 - Un cambio en el tamaño o forma de la mama
 - El pezón sumido hacia dentro de la mama
 - La piel de la mama, de la areola o del pezón puede verse escamosa, roja o hinchada. Puede tener rebordes u hoyuelos de tal manera que se parece a la cáscara de una naranja.
- Secreción del pezón (fluido) En general, el cáncer de mama al principio no causa dolor. Sin embargo, la mujer debe acudir a su clínica si tiene dolor en el seno o cualquier otro síntoma que no desaparece. En la mayoría de los casos, estos síntomas no significan que haya cáncer. Otros problemas de salud pueden causarlos también. Las mujeres que tengan estos síntomas deberán hablar con su médico para que los problemas puedan diagnosticarse y tratarse tan pronto como sea posible.



SISTEMA EXPERTO PARA LA INTERPRETACIÓN MAMOGRAFICA Cáncer de Mama



4.2.3 Diagnóstico

El diagnóstico se basa en el hallazgo de un tumor mamario y el método que proporciona mayor seguridad es el de la biopsia del tumor.

Si el paciente tiene síntomas o un resultado de exámenes selectivos de detección que sugieran que hay cáncer, el médico necesitará determinar si se debe a cáncer o a alguna otra causa. El médico puede preguntar al paciente acerca de sus antecedentes médicos personales y familiares. Es posible que haga un examen físico y puede pedir que se haga una mamografía o algún otro estudio de imágenes. Esos estudios producen imágenes de tejidos internos de la mama. Después de los exámenes, el médico puede decidir que ya no son necesarias otras pruebas. El médico puede sugerir que se haga un examen de seguimiento después de un tiempo. O bien, es posible que sea necesaria una biopsia para buscar células cancerosas.

Estudios de imágenes:

- Examen clínico de mama.
- Mamografía de diagnóstico.
- Ecografía.
- Imágenes de resonancia magnética
- Biopsia
- Estudios adicionales

Examen clínico de la mama

Se palpa cada mama buscando bultos y otros problemas. Si existe un bulto en la mama, el médico sentirá el tamaño, forma y textura del mismo. El doctor revisará también si el bulto se mueve con facilidad. Los bultos benignos con frecuencia se sienten diferentes de los bultos cancerosos. Los bultos que son suaves, lisos, redondos y que se pueden mover con facilidad son posiblemente benignos. Un bulto duro, de forma extraña, que se siente pegado con firmeza dentro de la mama es más probable que sea canceroso.

Mamografía de diagnóstico

Radiografía de las mamas que se utiliza para verificar la presencia de Cáncer de Mama después de que se encuentra un nódulo u otro signo o síntoma de cáncer.

Ecografía

Un dispositivo de ultrasonido emite ondas sonoras que no pueden ser escuchadas por el oído humano. Estas ondas rebotan en los tejidos. Una computadora usa los ecos para producir una imagen. El médico puede ver estas imágenes en un monitor de computadora. Las imágenes pueden mostrar si un bulto es sólido o está lleno de líquido. Un **quiste** es como una ampolla llena de líquido. Los quistes no son cancerosos. Pero una masa sólida puede ser cancerosa. Después de la prueba, su médico puede almacenar las imágenes en video o imprimirlas. Este examen puede usarse junto con una mamografía.

Imágenes de resonancia magnética

Las *imágenes de resonancia magnética* (IRM) usan una magneto potente, conectado a una computadora. En el estudio de resonancia magnética se producen imágenes detalladas de tejido de la mama. El médico puede ver estas imágenes en un monitor o imprimirlas en película. Este estudio puede usarse junto con una mamografía.

Biopsia

- Es posible que el médico recomiende a un cirujano o a un especialista en enfermedades de la mama para que le hagan una biopsia. Se extrae líquido o tejido de la mama para saber si hay cáncer presente.



SISTEMA EXPERTO PARA LA INTERPRETACIÓN MAMOGRAFICA *Cáncer de Mama*



- Algunas áreas sospechosas pueden verse en una mamografía pero no pueden sentirse en un examen clínico de mama. Los médicos pueden utilizar aparatos que producen imágenes para ayudarse a ver el área y extraer tejido de allí. Tales procedimientos son la biopsia guiada por ecografía, biopsia localizada por aguja o biopsia estereotáctica.
- Los médicos pueden extraer tejido de la mama usando diversos métodos:
 - **Aspiración con aguja fina:** El médico usa una aguja fina para extraer líquido de un bulto en el seno. Si el líquido parece contener células, un patólogo las revisa usando un microscopio en el laboratorio en busca de células cancerosas. Si el líquido extraído es claro, tal vez no sea necesario examinarlo en el laboratorio.
 - **Biopsia por punción:** El médico usa una aguja gruesa para extraer tejido de la mama. Un patólogo examina el tejido y busca células cancerosas. Este procedimiento se llama también biopsia de aguja.
 - **Biopsia quirúrgica:** El cirujano extrae una muestra de tejido. Un patólogo examina el tejido buscando células cancerosas.
 - La biopsia por incisión toma una muestra de un bulto o de un área anormal.
 - La biopsia por escisión, extrae todo el bulto o el área anormal.
- Si se encuentran células cancerosas, el patólogo puede decir qué tipo de cáncer es. El tipo más común de cáncer de mama es el carcinoma ductal. Las células cancerosas se encuentran en el revestimiento de los conductos. Otro tipo es el carcinoma lobulillar, en el cual las células anormales se encuentran en los lobulillos.

Exámenes adicionales

Si el diagnóstico es de cáncer, el médico puede ordenar exámenes especiales de laboratorio en el tejido que se extrajo. Los resultados de estos exámenes ayudarán al médico a saber más sobre el cáncer y a hacer un plan apropiado de tratamiento.

- **Prueba de receptores de hormonas:** Esta prueba muestra si el tejido tiene algunos receptores hormonales. Los tejidos que tienen esos receptores necesitan ciertas hormonas (estrógeno o progesterona) para crecer.
- **Prueba HER2:** Esta prueba muestra si el tejido tiene una proteína llamada receptor del factor de crecimiento epidérmico humano-2 (HER2) o el gen HER2/neu. La presencia de mucha proteína o de muchas copias del gen en el tejido puede aumentar la posibilidad de que el cáncer de mama regrese después del tratamiento.



SISTEMA EXPERTO PARA LA INTERPRETACIÓN MAMOGRAFICA Cáncer de Mama



4.3 Mamografía de detección y de diagnóstico para Cáncer de Mama

4.3.1 Mamografía

La **mamografía** (también llamada mastografía) es una imagen plana de la glándula mamaria (seno) obtenida con rayos X. La imagen se forma debido a la diferente atenuación sufrida por los rayos al atravesar los medios que constituyen la mama. Un estudio mastográfico de escrutinio para detectar lesiones subclínicas en mujeres asintomáticas, consiste de 2 pares de imágenes: una proyección cráneo-caudal y una medio-lateral-oblicua, para cada mama.

La mama está formada por tejidos parecidos entre sí, por lo cual la obtención de la imagen radiológica presenta un verdadero desafío para el radiólogo, que se encuentra en la búsqueda de lesiones que indiquen la presencia de un tumor, sin embargo, estas lesiones son muy pequeñas o muy parecidas al tejido normal.

Las mamografías son el mejor instrumento que tienen los médicos para encontrar cáncer de mama temprano. Sin embargo, las mamografías no son perfectas:

- Una mamografía puede no detectar algunos cánceres que están presentes. (Este resultado se llama "falso negativo").
- Una mamografía puede mostrar cosas que resultan no ser cáncer. (Esto se llama un resultado "falso positivo").
- Algunos tumores de crecimiento rápido pueden crecer y diseminarse a otras partes del cuerpo antes de que una mamografía pueda detectarlos.

Las mamografías usan dosis muy pequeñas de radiación. El riesgo de daño es mínimo pero, la exposición repetida a los rayos X podría ser dañina. Sin embargo, los beneficios casi siempre superan los riesgos.

Beneficios [ABC, 2008]

- La mamografía ha reducido en los países de primer mundo la tasa de mortalidad.
 - 15% en mujeres de 40-49 años.
 - 22% en mujeres mayores de 50 años.

En México, el IMSS cuenta con algoritmos que le permiten prevenir y detectar el Cáncer de Mama (Ver Figura 23 y 24) con lo cual se muestra que el estudio mamográfico es decisivo para recibir un segundo nivel de atención médica.

- Permite identificar los cambios observados en el transcurso del tiempo y que pueden ser el primer indicio de cáncer.
- Para ser un estudio confiable se requiere de un buen estudio radiológico y una óptima interpretación en bases anuales.
- Se requiere de un apoyo con el médico de la paciente para completar la evaluación.



SISTEMA EXPERTO PARA LA INTERPRETACIÓN MAMOGRÁFICA Cáncer de Mama



Algoritmo 3. Prevención y detección de cáncer de mama en mujeres de 40-49 años

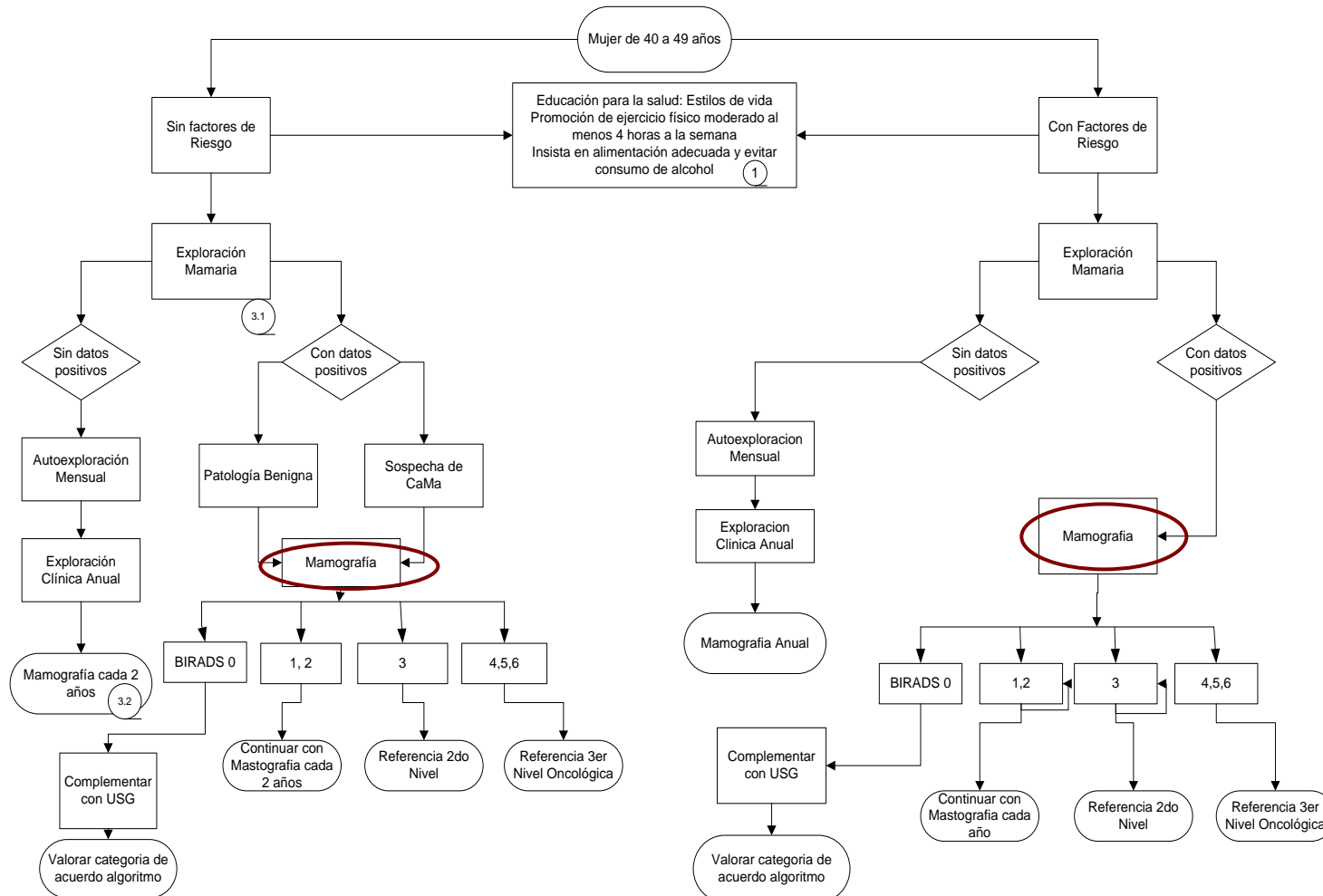


Figura 23 Algoritmo de prevención y detección de Cáncer de Mama en mujeres de 40 a 49 años¹⁶

¹⁶ "Guía de Práctica Clínica para la Prevención y Detección de Cáncer de Mama en el primer nivel de atención". Arturo Viniestra Osorio. Mayo 2008. IMSS. Requiere Microsoft Word. Sección 7 Algoritmos. Pág. 19.



SISTEMA EXPERTO PARA LA INTERPRETACIÓN MAMOGRAFICA Cáncer de Mama



Algoritmo 4. Prevención y detección de cáncer de mama en mujeres de 50-69 años

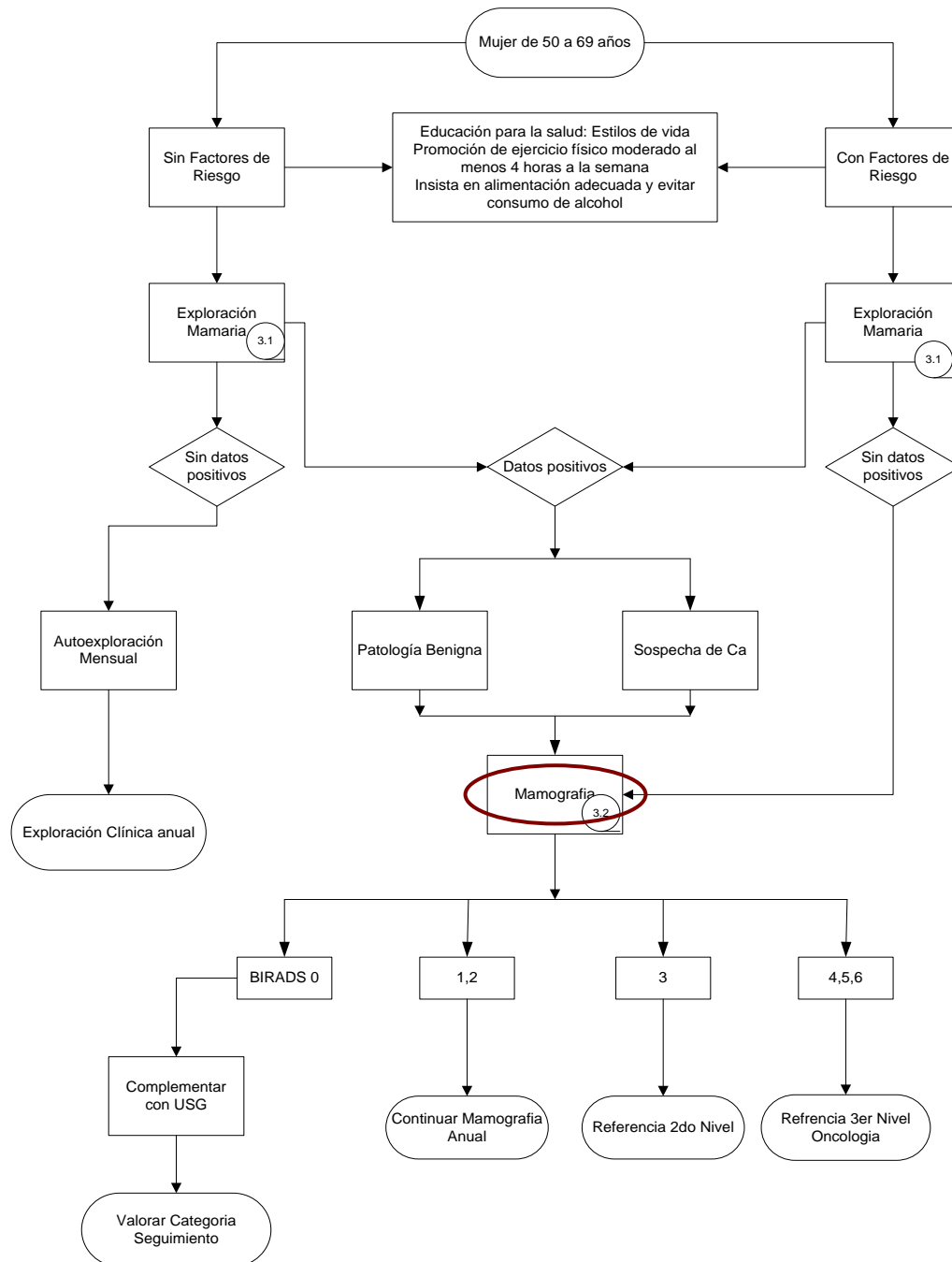


Figura 24 Algoritmo de prevención y detección de Cáncer de Mama en mujeres de 50 a 59 años¹⁷

¹⁷ “Guía de Práctica Clínica para la Prevención y Detección de Cáncer de Mama en el primer nivel de atención”. Arturo Viniestra Osorio. Mayo 2008. IMSS. Requiere Microsoft Word. Sección 7 Algoritmos. Pág. 20.



SISTEMA EXPERTO PARA LA INTERPRETACIÓN MAMOGRÁFICA *Cáncer de Mama*



Es posible realizar el diagnóstico temprano del Cáncer de Mama utilizando la mamografía, siempre y cuando se haga con la periodicidad adecuada y siguiendo las siguientes recomendaciones:

- Mamógrafo analógico de baja dosis de radiación.
- Utilizar película especial para mamografía.
- Sistema de revelado exclusivo para mamografía.
- Estricto control de calidad.
- Radiólogo con entrenamiento en mamografía.
- Transductores para ultrasonido de 7.5 [MHz] o mayor, de tipo lineal.
- Personal técnico capacitado (de preferencia del sexo femenino).

El estudio mamográfico puede ser hecho con dos objetivos: para detectar o bien para diagnosticar Cáncer de Mama.

4.3.2 Mamografía de detección

La **mamografía de detección** (pesquisa o tamizaje) es el método elegido para la detección de Cáncer de Mama en mujeres asintomáticas a partir de los 40 años e incluirá dos proyecciones:

- Céfalo-caudal.
- Medio lateral oblicua.

El beneficio más importante a partir de esta edad es la disminución potencial de la mortalidad. [Humphrey, y otros, 2002]

En algunos estudios la reducción de la mortalidad observada fue de 44% en el grupo de mujeres de 40 a 69 años que se encontraban en un programa de selección. [Armstrong, y otros, 2007]

Busca visualizar lesiones no-palpables (menores de 0.5 cm si se trata de nódulos), calcificaciones (nunca palpables por su reducido tamaño), densidad mamaria asimétrica, y/o distorsión arquitectural de la glándula mamaria.

Las **Calcificaciones** son acumulaciones cristalinas de calcio, de tamaños de cientos de micras, cuyo patrón de agrupación y morfología indica el grado de malignidad. Sólo la mamografía puede detectar las Calcificaciones. La imagen mamográfica sólo permite visualizar estos indicadores y mostrar, dependiendo de la interpretación hacer más mamografías y en su caso una biopsia (una biopsia es el único medio de saber con seguridad si hay cáncer). La existencia de células cancerosas sólo se determina a través del análisis patológico de la muestra citológica o histológica.

El resultado de la mamografía debe reportarse de acuerdo con la clasificación BIRADS.

4.3.3 Mamografía de diagnóstico

Las **mamografías de diagnóstico** son imágenes de rayos X de la mama. Producen imágenes más claras y con más detalles de áreas que se ven anormales en una mamografía de detección. Los médicos las usan para entender mejor los cambios que no son usuales en los senos, como lo es un bulto, el dolor, engrosamiento, secreción del pezón o cambio en el tamaño o forma de la mama. Las mamografías de diagnóstico pueden enfocarse en un área específica de la mama. Pueden comprender técnicas especiales y más vistas que las mamografías de detección.



SISTEMA EXPERTO PARA LA INTERPRETACIÓN MAMOGRÁFICA Cáncer de Mama



En general, una mamografía de diagnóstico se realiza en mujeres que tengan un estudio radiológico de detección con anomalías, es decir, cuando se den situaciones como las siguientes:

- Antecedente personal de Cáncer de Mama.
- Masa o tumor palpable.
- Secreción sanguinolenta por el pezón.
- Cambios en la piel del pezón o de la areola.
- Mama densa.
- Densidad asimétrica.
- Distorsión arquitectural.
- Microcalcificaciones sospechosas.

La mamografía diagnóstica debe incluir las radiografías con las proyecciones mencionadas y otras proyecciones necesarias y en caso de ser necesario, un ultrasonido.

4.4 Breast Imaging Reporting and Data System (BIRADS)

Existen numerosos criterios morfológicos y dinámicos para la interpretación de las lesiones características benignas y malignas en la literatura científica. Existen imágenes con resultados diferentes debido a diferentes técnicas de mamografía en todo el mundo. Estas variaciones en la técnica influyen en lo que el observador puede percibir e informar. Esta falta de consenso en la descripción de las características es uno de los principales problemas en la consolidación de datos procedentes de estudios mamográficos, la evaluación de la aplicabilidad de cualquier técnica, comunicar las conclusiones y los resultados son conferidos a los médicos.

En respuesta a dicha problemática, el Colegio Americano de Radiología (ACR) produjo el léxico de una mamografía como consecuencia del Breast Imaging Reporting and Data System (BIRADS).

BIRADS aporta un lenguaje estándar que puede ser usado para comparar hallazgos a través de múltiples estudios científicos y prepara a todos los radiólogos para describir los hallazgos mamográficos de una manera consistente.

El **BIRADS** es un sistema de información que está diseñado para mostrar un enfoque organizado para la presentación de reportes y el manejo de imágenes de la mama, fue diseñado en 1992 por el ACR, es el producto de un esfuerzo de colaboración de un grupo de trabajo integrado en los Estados Unidos de Norteamérica por varios comités del ACR en cooperación con el National Cancer Institute y el Centers for Disease Control and Prevention, la Food and Drug Administration, la American Medical Association, el American College of Surgeons y el College of American Pathologists. [Viniestra Osorio, 2008]. Su uso se estandarizó hasta 1997.

Los objetivos del BIRADS son:

- Estandarizar la terminología y la sistemática del informe mamográfico.
- Categorizar las lesiones estableciendo el grado de sospecha.
- Asignar una recomendación sobre las acciones a tomar en cada caso.

Este grupo de trabajo, elaboró esta herramienta, para asegurar la calidad y estandarizar los datos en los reportes mamográficos, con la intención de reducir la confusión en la interpretación de imágenes de la mama, facilitar el monitoreo de seguimiento, mejorar la calidad del cuidado del paciente, facilitar la comunicación con otros radiólogos y además favorecer la investigación.

En 2003 aparece la 4a edición del BIRADS, una edición ilustrada que además de ampliar la definición de algunos términos, anexó la valoración por Ultrasonido y por Resonancia Magnética.



SISTEMA EXPERTO PARA LA INTERPRETACIÓN MAMOGRAFÍA Cáncer de Mama



4.4.1 Categorías de clasificación

El uso diario del sistema de control de calidad BIRADS implica una evaluación en categorías numéricas de una mamografía, asignadas por el técnico radiólogo después de interpretar la mamografía. Consta de 7 clases diferentes de acuerdo a su estadificación, la categoría 6 fue añadida en la 4ta edición del atlas de mamografía. En la tabla que se muestra a continuación se encuentra en nombre de la clase, la definición y las conclusiones o recomendaciones:

Clase	Nombre	Definición	Conclusión/Recomendación
0 <i>Categoría incompleta</i>	Estudio incompleto MAMOGRAFÍA INCOMPLETA	Aquellos casos en los cuales la mamografía realizada sea insuficiente para definir una conducta.	C. Puede necesitar imágenes adicionales con diferentes proyecciones mamográficas, ultrasonido complementario o resonancia magnética. Requiere mayor evaluación. R. Será necesario efectuar estudios adicionales no invasivos como: a) Cono de compresión b) Magnificación c) Ultrasonido etc.
1 <i>Categoría de valoración final</i>	Estudio negativo NORMAL	Debe usarse cuando no se describan uno o más hallazgos mamográficos benignos en el reporte.	C. No hay evidencia mamográfica de malignidad. R. Se recomienda seguimiento a intervalo normal.
2 <i>Categoría de valoración final</i>	Hallazgos definitivamente benignos CAMBIOS BENIGNOS	Normal: Se utiliza cuando en la mamografía existen hallazgos benignos que no tienen la probabilidad de malignidad y no requiere ninguna otra evaluación. Deberá de ser usada cuando se describan uno o más hallazgos mamográficos benignos en el reporte.	C. No hay evidencia mamográfica de malignidad. R. Mastografía anual en mujeres mayores de 40 años
3 <i>Categoría de valoración final</i>	Hallazgos probablemente benignos PROBABLEMENTE BENIGNOS	Probablemente benigno: Se reserva para el caso en que los hallazgos son casi con seguridad benignos, se debe enfatizar que no es una categoría indeterminada para malignidad, y que los hallazgos en esta categoría tienen menos de un 2% de probabilidad de ser malignos.	C. Puede ser necesario realizar más proyecciones o complementar con ultrasonido. R. Lo recomendable es evaluación con otras imágenes y seguimiento a corto plazo. El seguimiento inicial a corto plazo es usualmente una mamografía del lado afectado a los 6 meses de la valoración inicial.
4 <i>Categoría de valoración final</i>	Lesión sospechosa de malignidad PROBABLEMENTE MALIGNO	Anormalidad sospecha: Esta categoría es usada para la gran mayoría de hallazgos, que ameriten la realización de procesos intervencionistas, desde la aspiración de quistes complejos, hasta la biopsia de Calcificaciones pleomórficas y	C. Debe considerarse biopsia. R. La acción recomendada es la <i>biopsia</i> , aunque no se especifica qué técnica intervencionista se debe utilizar en cada caso.



SISTEMA EXPERTO PARA LA INTERPRETACIÓN MAMOGRÁFICA Cáncer de Mama



Clase	Nombre	Definición	Conclusión/Recomendación
		<p>entran la mayoría de las lesiones no palpables que llegan a biopsia (3 a 94% de probabilidad de malignidad).</p> <p>Algunas instituciones han subdividido la Categoría 4 en 3 subdivisiones con objeto de lograr una mejor clasificación de las lesiones y de los métodos diagnósticos a usarse:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ 4A Requiere biopsia pero con baja probabilidad de malignidad ▪ 4B Probabilidad intermedia de malignidad ▪ 4C Imagen preocupante pero no clásica de malignidad como ocurre con el BIRADS 5. 	<p>Se necesita intervención adicional para confirmar la malignidad.</p> <p>4A Punción cito/histológica. 4B Estudio histológico 4C Estudio histológico</p>
5 <i>Categoría de valoración final</i>	Alta sospecha de malignidad. MALIGNO	<p>Altamente sugestiva de malignidad:</p> <p>Se utiliza para las lesiones que casi con certeza representa un carcinoma de la mama, esta categoría debe estar reservada para hallazgos que son clásicamente cánceres de mama, con posibilidades de malignidad de más de 95%.</p>	<p>C. Debe de realizarse una acción apropiada.</p> <p>R. Deberán tomarse medidas adecuadas en forma inmediata.</p> <p>Estas lesiones tienen alta probabilidad de ser malignas, es necesario su confirmación histológica por medio de un estudio histológico</p>
6 <i>Categoría de valoración final</i>	Malignidad comprobada EXISTE DIAGNÓSTICO HISTO - CITOLOGICO	<p>Se utiliza en casos de segundas opiniones o en la monitorización de la quimioterapia.</p> <p>Esta categoría se ha añadido para los hallazgos en la mama que se confirma son malignos pero previo a terapias definitivas.</p>	<p>C. Una acción apropiada debe ser tomada. Terapia definitiva de la lesión maligna.</p> <p>R. En el caso de encontrar una lesión Categoría 6 en una mama la glándula contralateral puede encontrarse en vigilancia por clasificarse en otra categoría de BIRADS.</p>

Tabla 11 Clasificación de BIRADS

4.5 Terminología básica

Autoexamen mamario: método realizado por la mujer misma para comprobar la presencia de cambios mamarios sospechosos de enfermedad o la presencia de masas (protuberancias).

BIRADS: sistema de notificación de imágenes y datos de la mama. Método usado por los radiólogos para interpretar y comunicar de manera estandarizada los resultados de exámenes de mamografía, ecografía y resonancia magnética.

Estadificación: se refiere a la clasificación de la extensión y gravedad de una enfermedad cancerosa.

Mamografía: es el estudio radiológico de las mamas, tomado con un aparato (mastógrafo) diseñado especialmente para este fin, con el que podrán efectuar mamografías de detección y de diagnóstico.



SISTEMA EXPERTO PARA LA INTERPRETACIÓN MAMOGRAFICA *Cáncer de Mama*



Mamografía de detección (pesquisa o tamizaje): radiografía de las mamas que se toma para verificar la presencia de alteraciones en la mama en ausencia de signos o síntomas.

Mamografía de diagnóstico: radiografía de las mamas que se utiliza para verificar la presencia de cáncer de mama después de que se encuentra un nódulo u otro signo o síntoma de cáncer.

Mamografía digital: técnica que utiliza una computadora, en lugar de una película de rayos X, para capturar imágenes de la mama.

Nódulos mamarios: son objetos que aparecen en ambas proyecciones con densidad media y alta, se confunden con el tejido glandular, y sus contornos son indicadores de malignidad.

Prevención primaria: todas aquellas actividades o acciones de promoción, educación o fomento de la salud, así como las de protección específica para la prevención de enfermedades.

Prevención secundaria: todas aquellas actividades o acciones que están encaminadas a lograr el diagnóstico y tratamiento temprano con el fin de limitar los daños a la salud.

Capítulo 5 Desarrollo del Sistema Experto

- 5.1 Fase A. Identificación del problema
- 5.2 Fase B. Entendimiento del problema
- 5.3 Fase C. Formalización del problema
- 5.4 Fase D. Implementación y pruebas
- 5.5 Fase E. Mejora
- 5.6 Productos obtenidos por fase de desarrollo



SISTEMA EXPERTO PARA LA INTERPRETACIÓN MAMOGRAFICA

Desarrollo del Sistema Experto



5 DESARROLLO DEL SISTEMA EXPERTO

Para el desarrollo del SE se dio seguimiento al proceso ya descrito en la sección 2.10 del presente trabajo, apoyándose de las buenas prácticas documentadas en los libros: Frenzel 1989, Rolston 1991 y Turban 1992. Además se identificó el tiempo invertido por actividad, mostrado en el Anexo A.

5.1 Fase A. Identificación del problema

En esta fase se efectuaron una serie de actividades cuyo producto final fue la identificación del problema y como productos intermedios se tiene el análisis de la situación actual para definir el contexto del proyecto, el planteamiento de los objetivos y el alcance del mismo así como la investigación sobre los expertos disponibles que pueden ser considerados para dar solución a la problemática seleccionada.

5.1.1 Investigación de problemas

Se reunió una lista de problemas que pudieron ser considerados en el Cáncer de Mama que surgieron como producto de la investigación del tema:

- 1) El análisis de los Factores de Riesgo de contraer Cáncer de Mama. Estudio de los factores ambientales, hábitos personales y condiciones físicas de las personas, que pueden ser indicativos de causa de Cáncer de Mama.
- 2) La interpretación mamográfica apegada al estándar internacional BIRADS. Seguimiento de BIRADS que establece una clasificación para las mamografías en la cual se emiten recomendaciones para las acciones inmediatas.
- 3) Determinación de Tratamientos para el Cáncer de Mama. Emisión de recomendaciones sobre los diversos tratamientos a personas con Cáncer de Mama diagnosticado.
- 4) Realización de cirugías para extirpar tumores cancerígenos. Determinación del tipo de cirugía a practicarse, dependiendo de cada tipo de Cáncer de Mama.
- 5) Plan nutricional para personas con Cáncer de Mama. Emisión de una dieta personalizada para personas con Cáncer de Mama.
- 6) La evaluación de la calidad de la mamografía. Determinar si la mamografía fue correctamente interpretada, basándose en una serie de parámetros.
- 7) Tutorial para la interpretación mamográfica. Proporcionar una herramienta de evaluación dirigida a los radiólogos generales para interpretar mamografías.



SISTEMA EXPERTO PARA LA INTERPRETACIÓN MAMOGRÁFICA

Desarrollo del Sistema Experto



5.1.2 Selección de problemáticas candidatas

La lista de problemas se redujo para establecer cuáles de ellos recibirían atención seria, debido a que el enfoque que se quería dar al sistema era como herramienta de ayuda en el diagnóstico de Cáncer de Mama y como resultado de los primeros acercamientos con expertos en Oncología mamaria, primero del Instituto Nacional de Cancerología (INCAN) y después del Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS), las problemáticas se redujeron a 3 principales:

- 1) El análisis de los Factores de Riesgo de contraer Cáncer de Mama.
- 2) La evaluación de la calidad de la mamografía.
- 3) La interpretación mamográfica apegada al estándar internacional BIRADS.

Adicionalmente fue necesario que cada una de las problemáticas identificadas pasara por un filtro de selección, para lo cual fue necesario verificar el cumplimiento de los siguientes criterios: [Rolston, 1991]

- Requiere del empleo del conocimiento experto.
- La habilidad es escasa o es probable que se torne escasa pronto.
- Los expertos que saben resolver la problemática están disponibles.
- Es difícil implementar una solución algorítmica tradicional.
- Requiere una cantidad razonable de conocimientos de juicio o enfrenta algún grado de incertidumbre.
- Requiere habilidades verbales primeramente (cómo opuestas a las físicas).
- Es muy valiosa una solución del problema para la organización, es decir, definitivamente vale la pena resolver la problemática.
- La solución que es válida el día de hoy y será útil durante los próximos años.
- Es aceptable que el sistema, ocasionalmente, falle en encontrar una solución.
- Hay disponibilidad de una cantidad considerable de tiempo para construir el sistema (por lo menos 6 meses).

5.1.3 Análisis de la problemática

Se efectuó una exploración detallada para las 3 problemáticas seleccionadas anteriormente, la cual consistió en el análisis de la aplicabilidad del dominio, la disponibilidad experta y los alcances del problema, determinando con ello, que la mejor candidata era la problemática presentada en la interpretación mamográfica apegada al estándar internacional BIRADS. En seguida, se presentan los criterios para los diferentes tipos de análisis, mismos que están enfocados a la problemática seleccionada.

5.1.3.1 Aplicabilidad del dominio

Los criterios para efectuar el análisis de la aplicabilidad del dominio para la interpretación mamográfica apegada al estándar BIRADS fueron: [Rolston, 1991]

1. La problemática seleccionada demanda razonamiento experto escaso, en este punto se detectaron algunas situaciones importantes:
 - Existe una diferencia significativa entre los niveles de desempeño de un experto profesional y el profesional común cuyo nivel típico de habilidad para interpretar mamografías, es bajo.



SISTEMA EXPERTO PARA LA INTERPRETACIÓN MAMOGRÁFICA

Desarrollo del Sistema Experto



- Es necesario formalizar un conjunto complicado de procedimientos informales que sólo son entendidos por algunos expertos. En este sentido, el BIRADS tiene como objetivo estandarizar los parámetros bajo los cuales se interpreta una mamografía, y a pesar de que debe ser usado por todos ya que es un estándar internacional, no todos lo usan.
 - Es necesario preservar el conocimiento que se puede perder. Por lo tanto, un SE puede ser la única forma de almacenar los valiosos conocimientos del experto humano, para que otras personas puedan adquirirlos y utilizarlos.
 - Es necesario distribuir la habilidad de resolución del problema hacia muchas partes. En este caso particular, el SE está dirigido a los radiólogos generales que interpretan mamografías en el primer nivel de atención y que no tienen habilidades de un experto en Oncología mamaria. Además el SE puede servir como material de consulta para otros especialistas.
 - Los expertos humanos son escasos y utilizan su tiempo en resolver problemas de otros. La canalización de pacientes no siempre se hace de la manera adecuada. Por ello, existe un desvío de recursos ya que la interpretación de la mamografía no siempre se hace correctamente.
 - Existe un gran volumen de conocimientos difíciles de organizar y recordar que se deben usar para solucionar un problema. Es ocasiones los expertos humanos, observan una mamografía y saben que acciones deben ejecutar, pero no siempre consideran todos los parámetros involucrados.
2. Los problemas del dominio se solucionan usando principalmente conocimiento simbólico (como el verbal). La solución al problema no cuenta con un manejo amplio de fórmulas numéricas. El problema de la interpretación mamográfica no se resuelve mediante la aplicación de una fórmula matemática. El conocimiento heurístico obtenido tras años de experiencia en la solución del problema y puede transformarse en reglas de producción
 3. La solución del problema se da de manera cognoscitiva y no requiere manejo físico extenso como en el caso de una escultura, no requiere de una entrada sensorial como del procesamiento de señales o un vasto conocimiento de sentido común (juer). No se requiere que la paciente se encuentre físicamente cuando el radiólogo interpreta la mamografía.
 4. Los problemas que el sistema va a resolver son conocidos por su semejanza con los problemas ya existentes. Por lo tanto, el propósito del sistema es usar la tecnología actual y no hacer investigación, con el objetivo de dar seguridad de que el dominio es razonable para una aplicación de un SE.

Se puede agregar que para resolver el problema es apropiado el uso de un SE ya que coincide con un área de aplicación de los mismos. Además del análisis de aplicabilidad del dominio y el análisis comparativo entre un sistema convencional y un SE, se determinó que es necesario implementar un SE de **interpretación** el cual, infiera descripciones de situaciones a través de los datos obtenidos y explique los datos observados asignándoles un significado simbólico para describir la situación o el estado actual del sistema.

5.1.3.2 Disponibilidad experta

Para que el desarrollo del SE tuviera éxito, fue imperativo que un experto humano adecuado estuviera disponible y que contara con las siguientes características: [Rolston, 1991]

- El experto existente debe estar posibilitado para resolver problemas en el dominio del tema.
- El experto debe estar disponible y consciente de la necesidad de trabajar un par de horas a la semana ya que el sistema se dirige a un dominio en el cual la habilidad de resolver problemas es escasa y por lo tanto de gran demanda.
- El experto debe articular razonablemente el conocimiento. Debe ser capaz de describir el conocimiento del dominio y cómo se debe aplicar.



SISTEMA EXPERTO PARA LA INTERPRETACIÓN MAMOGRÁFICA

Desarrollo del Sistema Experto



- El experto debe tener la disposición a dar conocimiento y colaborar en los esfuerzos de desarrollo.
- El experto debe disfrutar de buena reputación entre los potenciales usuarios del sistema.
- Muchos expertos deben estar de acuerdo sobre las técnicas de resolución del problema. Esto posibilita la verificación final del sistema por parte de varios expertos. Aunque no todos los expertos estén de acuerdo con las técnicas del experto principal deben reconocer el método experto principal como una de las aceptables y reconocidas escuelas del pensamiento.

La tarea de buscar un experto humano en Cáncer de Mama no fue una tarea fácil, pues son personas valiosas para las instituciones en donde laboran y tienen una carga de trabajo considerable la mayor parte del tiempo. Fue necesario realizar una investigación sobre los expertos humanos y en donde encontrarlos, seleccionando instituciones públicas de salud (INCAN e IMSS) por contar con mayor apertura hacia asuntos académicos y por el número de pacientes que atienden diariamente lo cual impulsa el dominio del área y la detección de problemas en los primeros niveles de atención, después de la ubicación de los especialistas fue necesario establecer comunicación con ellos con la finalidad de lograr una cita.

Se estableció comunicación con 5 doctores relacionados estrechamente con el Cáncer de Mama:

1. El Dr. Jorge L. Martínez Tlahuél del Instituto Nacional de Cancerología en el Departamento de Oncología Médica.
2. La Dra. Isabel Zeichner Gancz Investigador en Ciencias Médicas "C" en el Instituto Nacional de Cancerología. Epidemiología del cáncer en general y en especial el Cáncer de Mama.
3. El Dr. Mauricio Salcedo Vargas del Laboratorio de Oncología Genómica, Unidad de Investigación Médica en Enfermedades Oncológicas, Hospital de Oncología, Centro Médico Nacional Siglo XXI-IMSS.
4. El Dr. Juan Carlos Martínez Chequer, Jefe de la División de Investigación en Salud del IMSS, en el Hospital de Gineco-obstetricia No. 4 Luis Castelazo Ayala.
5. Dr. Fernando E. Mainero Ratchelous jefe del servicio de Oncología mamaria del IMSS, en el Hospital de Gineco-obstetricia No. 4 Luis Castelazo Ayala.

5.1.3.3 Alcances del problema

Para delimitar el alcance fue necesario contemplar los siguientes puntos:

- Que el SE a desarrollar, ofreciera al usuario la posibilidad de solucionar un problema típico en un tiempo razonable.
- Que el SE propuesto tratara con un problema bien delimitado en un dominio reducido.
- Que la habilidad que se incorpore dentro del SE pueda ser rutinariamente enseñada a principiantes.

Fue muy importante que se cumpliera que el campo en el cual se aplicaría el conocimiento fuera reducido y preciso, es decir, en una materia específica. Una materia general no es adecuada para un SE pues es muy difícil crear la Base de conocimiento y demasiado extensa, en cambio, si el problema a resolver es de carácter muy específico, entonces es adecuado para ser resuelto por un SE.

Después de considerar los aspectos mencionados, se entrevistó a cada uno de los expertos disponibles, se les explicó el interés en el área, la importancia de los SE en el área médica, la seriedad con la que se realizaría el proyecto y los beneficios que éste podría traer en la detección oportuna del Cáncer de Mama, para ello fue necesario redactar el Acta de proyecto (basada en el Modelo de Procesos para la Industria del software MOPROSOFT) con el objetivo de registrar la información básica para iniciar un nuevo proyecto, los elementos contenidos en este documento fueron (Ver Anexo B):

- **Nombre del proyecto.** Escribir el nombre completo del proyecto.
- **Justificación.** En donde se da una explicación de las razones por las cuales es necesaria la aplicación de una tecnología basada en SE, producto de una investigación sobre la problemática a resolver.



SISTEMA EXPERTO PARA LA INTERPRETACIÓN MAMOGRÁFICA

Desarrollo del Sistema Experto



- **Descripción del proyecto.** Redacción en un párrafo, la especificación general de lo que contempla el proyecto.
- **Objetivos del proyecto.** Establecer brevemente lo que debe cumplir el proyecto y describir los productos que estarán dirigidos a solucionar el problema. Se menciona tanto el objetivo general como los objetivos particulares, contestando a las preguntas ¿Qué? ¿Cómo? y ¿Por qué?
- **Alcance.** Describir en forma narrativa el trabajo que se va a realizar (productos y/o servicios), define qué se incluye. Proporcionar detalles específicos para asegurar que exista un entendimiento completo y sin ambigüedades de los límites del proyecto. El alcance describe los límites dentro de los cuales se van a realizar, entregar y distribuir los productos descritos en los objetivos. Además de las inclusiones se debe agregar precondiciones y exclusiones del proyecto.
- **Consideraciones.** En ésta sección se incluyen los factores críticos de éxito, supuestos, riesgos, administración del cambio, o restricciones conocidas.
- **Involucrados.** Directivos, clientes y usuarios interesados en el proyecto, así como el Administrador de Proyecto y demás encargados de la ejecución del mismo, indicando su rol y/o responsabilidad.

5.1.4 Selección final de la problemática candidata

Se seleccionó la interpretación mamográfica apegada al estándar internacional BIRADS, por 3 razones principales: cumple de manera factible con todos los criterios de filtración, el experto humano mostró en todo momento accesibilidad a la información y conocimiento solicitado, y el experto humano proporcionó un estudio de 1314 mamografías hecho por él mismo (Consultar sección 2.2). En donde refiere que se encontraron presentes factores que causan incidencias en la detección de Cáncer de Mama cuando ésta se hace mediante un estudio mamográfico, entre dichos factores, se encuentran los siguientes:

- La interpretación mamográfica no siempre se realiza de manera adecuada, debido a que se presentan errores en las siguientes situaciones:
 - La persona que pide el estudio.
 - La persona que realiza el estudio.
 - La persona que interpreta y reporta el estudio.
 - La persona que actúa y decide con la paciente.
- Los radiólogos especializados en Cáncer de Mama son escasos.
- La interpretación del estudio mamográfico como primer estudio es decisiva para proporcionar un segundo nivel de atención a las pacientes.

La mamografía ha demostrado beneficio en mujeres de 50 a 69 años como estudio de detección, una más de las razones para estudiar la factibilidad de proporcionar una herramienta tecnológica que aportara beneficios en la prevención y detección de Cáncer de Mama.

5.2 Fase B. Entendimiento del problema

El trabajo real de desarrollo del SE sucedió en esta fase y fue cuando entró en juego la Ingeniería de conocimiento pues como se mencionó en el Capítulo 3, ésta se ocupa del proceso de extracción de la información de los expertos humanos y de estructurar una Base de conocimiento, por lo que es necesario poseer habilidades en el campo de desarrollo de los SE. Como productos finales de esta fase, se tiene la selección del experto humano, la definición de la Adquisición del conocimiento y la definición de la Representación del conocimiento y como producto intermedio se encuentra la versión final del Acta de proyecto.



SISTEMA EXPERTO PARA LA INTERPRETACIÓN MAMOGRAFICA

Desarrollo del Sistema Experto



5.2.1 Selección del experto humano

Considerando las características que el experto humano debe reunir, se seleccionó al Dr. Fernando E. Mainero Ratchelous con 19 años de experiencia en el área del Cáncer de Mama, ha tenido destacadas contribuciones tanto en la investigación sobre la prevención, el diagnóstico y tratamiento del Cáncer de Mama, como en la divulgación de los mismos. Algunos datos referentes a su experiencia en el área de Oncología mamaria son los siguientes:

- Cirujano oncólogo egresado del Hospital General de México de la Secretaría de Salud en 1990.
- Médico de base del Hospital de Oncología del año 1990 a 1993.
- Médico de base del Servicio de Oncología mamaria, del Hospital de Gineco-obstetricia No. 4 Luis Castelazo Ayala IMSS de 1990 a 2001.
- Jefe del Servicio de Oncología mamaria, del Hospital de Gineco-obstetricia No. 4 Luis Castelazo Ayala IMSS de 2001 a la fecha.
- Presidente de la asociación Mexicana de mastología de 1994 a 1996.
- Coordinador del capítulo de Mastología de la Sociedad Mexicana de Ginecología de 1995 a 2006.
- Participante y miembro fundador del Grupo Nacional del Consenso Nacional de Cáncer de Mama 1995.
- Participante de los consensos de Cáncer de Mama 2000, 2003 y 2008.
- Miembro del Comité Nacional de Investigación IMSS 2000 a 2003.
- Editor principal de la Guía de Diagnostico y tratamiento de Cáncer de Mama IMSS 2004.
- Participante en el Consenso Nacional de Climaterio, 2004.
- Participante en la realización de la Norma oficial Mexicana de Cáncer de Mama 2008 Secretaría de Salud.
- Profesor Titular del Curso Universitario para subespecialistas en Cáncer de mama. UNAM, Estudios de posgrado de la Facultad de medicina, 2004 a 2009.

El Dr. Mainero es un experto humano capaz de resolver el problema definido en la fase anterior con amplias posibilidades de éxito, además posee las siguientes características:

- Buena capacidad de memoria o de razonamiento abstracto.
- Posee gran cantidad de conocimiento adquirido de años de estudio y práctica, cuya organización y naturaleza son de calidad.
- Ha desarrollado la habilidad de percibir grandes patrones de información significativos, de manera que la solución de problemas la lleva a cabo de una forma intuitiva.
- Es un experto humano específico.

En este punto, después de los primeros acercamientos con el experto humano, se realizaron las modificaciones pertinentes al Acta de proyecto, como resultado de las nuevas orientaciones dadas por el experto humano, un punto importante a resaltar es que inicialmente se habían proyectado 15 reuniones con el experto en un lapso de 6 meses, pero gracias al interés y compromiso mostrado por el experto humano, se realizaron 20 reuniones de mayor durabilidad que las solicitadas inicialmente, por lo que se superó la expectativa sobre la disponibilidad del experto humano.

Cabe señalar que se decidió trabajar con un solo experto humano porque aunque varias personas puedan ser especialistas en un mismo dominio, sus conocimientos y su forma de plantear la solución de los problemas, pueden ser muy diferentes como se vio en una reunión con varios expertos, la forma de plantear el razonamiento es diferente y dado que no hay dos especialistas que razonen de la misma forma, se consideró como mejor alternativa trabajar con un sólo experto humano, que intentar concentrar diferentes aproximaciones proporcionadas por varios expertos.



SISTEMA EXPERTO PARA LA INTERPRETACIÓN MAMOGRÁFICA

Desarrollo del Sistema Experto



5.2.2 Adquisición del conocimiento

Desde el principio, se dio seguimiento a las actividades y recomendaciones del proceso de la Adquisición del conocimiento, estableciendo formalmente los métodos de dicho proceso en esta fase de desarrollo del SE.

5.2.2.1 Métodos de Adquisición del conocimiento

Se seleccionaron métodos manuales para la Adquisición del conocimiento tales como:

- **Conocimiento documentado.** Desde el momento en el que se comenzó a construir el SE, se realizó la extracción de conocimiento de diversas fuentes implicadas (libros, artículos de revistas, manuales, informes y documentos de ayuda), en formato digital o impreso, ya que cualquier documento podía ser útil para la introducción de conocimientos en la Base de conocimiento. También fue necesario preguntar al experto humano qué literatura técnica empleaba, documentación relevante o las fuentes de donde adquirió sus conocimientos, más adelante se descubrió que los conocimientos de los expertos humanos son instrumentos básicos para crear la Base de conocimiento. Una vez que se reunió toda la información, se revisó para familiarizarse con el contenido y poder ubicar el material con el que se contaba para poder consultarlo cuando fuera necesario.
- **Entrevistas no estructuradas y semiestructuradas** ya que se detectó que el nivel de experiencia en el dominio del conocimiento del experto humano era muy alto, por lo que para obtener el conocimiento en este caso, lo recomendable era elegir un tipo de entrevista con menor estructura, esto hace que la información fluya de manera natural. A pesar de las múltiples actividades del experto humano, gracias a su visión y compromiso, las 20 reuniones se documentaron en minutos (Ver Anexo C). En las entrevistas se tomó nota de las respuestas a las cuestiones planteadas y después se buscó la respuesta a cómo el experto humano resuelve problemas típicos.
- **Observación directa,** mediante pláticas y la visualización del trabajo desempeñado por el Dr. Mainero en el hospital de Gineco-obstetricia No. 4, se logró la participación en la solución de un problema real, observando cómo el experto humano identificaba el problema y obtenía la solución, lo cual fue muy útil ya que proporcionó pistas a cerca del conocimiento necesario y la forma en que éste se aplica en la resolución de los problemas, en esta actividad se comprobó la coherencia de lo observado con lo dicho por el experto humano.

5.2.2.2 Material generado

En el proceso de la Adquisición del conocimiento fue necesario detectar las necesidades del experto humano, es decir, identificar el tipo de material (impreso y electrónico) que contemplara el uso de elementos visuales y de presentación que resultaran útiles para el experto humano en el entendimiento de los productos que se deseaban obtener y el establecimiento de un ambiente de confianza hacia el Ingeniero de conocimiento en el que se entienda que todo el trabajo realizado llevaría a la meta final, para lograrlo, fue necesario generar el material descrito a continuación:

- **Acta de proyecto.** En la cual se deben incluir elementos como: la asignación de un nombre al proyecto, la justificación, el establecimiento del alcance del sistema, los objetivos y el planteamiento en un nivel muy general, así como los involucrados, productos a generar y las características del equipo de cómputo que se usará para el desarrollo. Este documento fue la mejor carta de presentación, pues en los primeros acercamientos con el experto humano es importante mostrar compromiso y formalidad, obteniendo del experto humano la misma formalidad en la propuesta. (Ver Anexo B y Consultar sección 5.1.3.3).
- **Presentación sobre SE.** Incluye los conceptos básicos sobre los SE como definición, componentes, funcionamiento, aplicación en otras áreas, roles involucrados, entre otros.



SISTEMA EXPERTO PARA LA INTERPRETACIÓN MAMOGRÁFICA

Desarrollo del Sistema Experto



- **Minutas de las reuniones de trabajo con el experto humano.** Las cuales implicaron investigación previa para la formulación de preguntas cuyas respuestas estuvieran encaminadas a la solución del problema y una vez concluida la reunión, se documentaron dichas respuestas a los planteamientos hechos y la generación de material de apoyo como diagramas y archivos. La estructura contempló lo siguiente: datos sobre lugar, fecha y hora de la reunión, participantes, compromisos pendientes, una sección de preguntas y/o una sección de validación de material. En total se realizaron 20 reuniones con el experto humano de aproximadamente 2 horas cada una, teniendo un total de 40 horas de trabajo, a continuación se muestra una tabla con la cronología de las reuniones: (Ver Anexo C)

No.	Fecha	Minuta	Nombre	Objetivo
1	15/10/2009	No	Reunión de inicio	Describir el proyecto con la lectura del Acta de proyecto.
2	07/11/2008	Si	SECM_Minuta071108.doc	Intercambiar conceptos básicos sobre Sistemas Expertos e interpretación mamográfica, usando presentaciones en Microsoft Power Point. Obtener bibliografía básica para iniciar proceso de Adquisición del conocimiento.
3	17/11/2008	Si	SECM_Minuta171108.doc	Obtener información sobre la forma de contribuir con el diagnóstico del Cáncer de Mama, dada la problemática expuesta. (entrevista no estructurada) Definir la metodología de trabajo y los productos derivados del proyecto de colaboración.
4	24/11/2008	Si	SECM_Minuta241108.doc	Definir línea de trabajo que se seguirá para el desarrollo del Sistema Experto. Revisar la primera versión del diagrama obtenido de BIRADS para interpretación de mamografías. Solicitar información sobre mamografías y el proceso para diagnosticar Cáncer de Mama en una paciente que acude a la clínica.
5	23/12/2008	Si	SECM_Minuta231208.doc	Verificar y validar la V 0.3 del diagrama de Interpretación. Realizar entrevista semiestructurada sobre la extracción de la información documental proporcionada por el experto.
6	14/01/2009	Si	SECM_Minuta140109.doc	Validar la V 0.4 del diagrama de Interpretación y realizar una prueba de escritorio, para corroborar la consideración de variables. Realizar entrevista estructurada para aclaración de dudas. Verificar la V 0.1 del diagrama de flujo.
7	30/01/2009	Si	SECM_Minuta300109.doc	Solicitar fuentes para terminología básica a incluir en el diccionario BIRADS. Validar la V 0.5 del diagrama de Interpretación. Verificar las combinaciones de las variables hechas para el rubro de Masas.
8	11/02/2009	Si	SECM_Minuta110209.doc	Validar la V 0.6 del diagrama de Interpretación y la V 0.2 del diagrama de flujo. Asignar las probabilidades a las variables identificadas en el diagrama de Interpretación. Realizar prueba de escritorio al diagrama de flujo. Revisar todas las combinaciones resultantes y las reglas de inducción obtenidas.
9	03/03/2009	Si	SECM_Minuta030309.doc	Validar la V 0.6 del diagrama de Interpretación y asignar clasificación a las combinaciones resultantes en el rubro de Masas.
10	31/03/2009	Si	SECM_Minuta310309.doc	Explicar al Dr. sobre la forma en la que se podría manejar la probabilidad. Asignar clasificación a las combinaciones



SISTEMA EXPERTO PARA LA INTERPRETACIÓN MAMOGRÁFICA

Desarrollo del Sistema Experto



No.	Fecha	Minuta	Nombre	Objetivo
				resultantes en el rubro de Calcificaciones. Mostrar la aplicación en Microsoft Access, para manipular las combinaciones, con las combinaciones para Masas y Calcificaciones.
11	03/04/2009	Si	SECM_Minuta030409.doc	Revisar las combinaciones resultantes para los rubros identificados. Revisar el primer conjunto de reglas de producción y muestra de la programación de éste pequeño conjunto en CLIPS, para muestra al experto. Mostrar la aplicación en Access, para manipular las combinaciones, con las combinaciones Masas con calcificaciones asociadas.
12	14/04/2009	Si	SECM_Minuta140409.doc	Verificar las clasificaciones de las combinaciones de masa (densidad Heterogénea). Verificar las clasificaciones para las combinaciones de Masas. Realizar entrevista no estructurada, sobre pendientes.
13	22/04/2009	Si	SECM_Minuta220409.doc	Asignar las clasificaciones para las combinaciones de Masas con calcificaciones internas.
14	13/05/2009	No	(no se generó minuta)	Asignar las clasificaciones para las combinaciones de Masas con calcificaciones internas.
15	15/05/2009	No	(no se generó minuta)	Asignar las clasificaciones para las combinaciones de Masas con calcificaciones internas.
16	18/05/2009	No	(no se generó minuta)	Verificar las clasificaciones para las combinaciones de Masas con calcificaciones internas.
17	21/05/2009	No	(no se generó minuta)	Verificar las clasificaciones para las combinaciones de Masas con calcificaciones internas.
18	25/05/2009	No	(no se generó minuta)	Verificar las clasificaciones dadas a las combinaciones de Masas y Calcificaciones.
19	02/06/2009	Si	SECM_Minuta020609_Parte1.doc	Explicar brevemente del proyecto en desarrollo. Revisar y explicar de manera general el diagrama de Interpretación en la Versión 0.6. Verificar con el equipo de trabajo de oncología mamaria las combinaciones en las cuales el experto humano.
20	02/06/2009	Si	SECM_Minuta020609_Parte2.doc	Verificar con el equipo de trabajo de oncología mamaria las combinaciones en las cuales el experto humano.

Tabla 12 Relación de minutas generadas de las reuniones de trabajo

- **Aplicación en Access 2007** utilizada para la manipulación de las combinaciones generadas de Masas, Masas con calcificaciones asociadas y Calcificaciones.
- **Archivos en Excel** utilizando herramientas que permitieran la comprensión del experto humano y enviadas vía mail periódicamente, con las modificaciones hechas en cada sesión.
- Generación de **diagramas de flujo** y **organigramas** con Visio 2003 y PowerPoint 2007
- Investigación documentada sobre el dominio del problema, con base en las fuentes proporcionadas por el experto y como producto de ello se tiene un **Diccionario BIRADS** y un documento de **información general del BIRADS**.
- Creación de prototipo de muestra para comprensión del experto humano, que incluía 15 reglas de producción.



SISTEMA EXPERTO PARA LA INTERPRETACIÓN MAMOGRÁFICA

Desarrollo del Sistema Experto



5.2.2.3 Verificación de información

El Dr. Mainero, asumió su rol como experto humano y revisó en dos ocasiones cada combinación (Masas, Masas con calcificaciones asociadas y Calcificaciones) verificando la consistencia del conocimiento. En este proceso se detectaron combinaciones problemáticas en las cuales la consistencia de las respuestas no se mantenía, en esos casos, el Dr. Mainero tuvo que documentarse, comparar su clasificación con casos reales y ocasionalmente solicitar la opinión de sus colegas.

A la par de la verificación de la consistencia y coherencia del conocimiento, el experto humano utilizó algunas mamografías como casos de prueba, corroborando que sus planteamientos hechos para el SE eran los correctos.

En las primeras fases la verificación de la información se realizó mediante la Adquisición del conocimiento documentado y sometiendo a la opinión del experto humano.

5.2.2.4 Validación de información

Se dio una plática al grupo de 5 doctores que colaboran con el Dr. Mainero, en donde se vio entre otras cosas, que los doctores no tienen un lenguaje homogéneo en la interpretación mamográfica, pues al presentarles un grupo de combinaciones de hallazgos mamográficos para clasificarlos, hubo un 20% de coincidencia con la clasificación dada por el Dr. Mainero, después de ello, brevemente explicamos los parámetros considerados y el significado de éstos, y nuevamente se realizó la misma prueba con diferentes combinaciones, observando un porcentaje de coincidencia del 80%, con lo cual se demuestra la importancia de contar con un lenguaje estandarizado que permita interpretar de manera completa mamografías y además para homogenizar el punto de vista de los doctores y radiólogos respecto a la interpretación mamográfica apegada al estándar internacional BIRADS.

Adicionalmente existían combinaciones de variables, en las cuales el Dr. Mainero, cambió la clasificación BIRADS en ciertas ocasiones, por lo que pidió una segunda opinión a tres colegas, especialistas en Cáncer de Mama, para poder determinar qué clasificación era la más adecuada.

En todo el proceso de Adquisición del conocimiento, el Dr. Mainero reforzó constantemente sus conocimientos transmitidos, haciendo un ejercicio de memoria.

5.2.2.5 Resultados obtenidos en la fase de Adquisición del conocimiento

En la Adquisición del conocimiento existieron factores que incrementaron la dificultad del problema a resolver como:

- El almacenamiento de conocimiento y datos erróneos.
- Los cambios en los datos, que corresponden al carácter dinámico de la situación del problema.
- El número de posibilidades a evaluar.
- Los procedimientos complejos que implican el desechar una posibilidad.

El sistema requirió de la experiencia humana, la cual estuvo suficientemente bien estructurada para constituir un método de trabajo y estuvo sujeta a la revisión y complementación de la experiencia acumulada por el experto humano, por ello se logró obtener los siguientes resultados:

- Se trabajó hasta la versión 6 del Diagrama para la interpretación mamográfica del Anexo D en la cual se muestra la identificación de las variables a considerar en la interpretación mamográfica y cuya combinación servirá para la generación y estructuración de las reglas de producción que formarían parte de la Base de conocimiento.



SISTEMA EXPERTO PARA LA INTERPRETACIÓN MAMOGRÁFICA

Desarrollo del Sistema Experto



- Se verificó con el experto humano la clasificación BIRADS dada a 1364 combinaciones y se generó un reporte de clasificación, ubicado en el Anexo E. En dicho anexo se habla de los criterios empleados por el experto humano para asignar clasificaciones en la interpretación mamográfica, también muestra el conteo final por clasificación de BIRADS traducido en porcentajes e ilustrado con gráficas.

Retomando en este punto que el nivel de desempeño de un SE está en función del tamaño, la calidad y la habilidad de la Base conocimiento; y que el conocimiento contenido en una Base de conocimiento debe ser exhaustivo, el SE desarrollado posee una Base de conocimiento que abarcó una gran cantidad de conocimiento proveniente del experto humano (en el periodo definido).

5.3 Fase C. Formalización del problema

En esta fase, como productos finales se definió la estructura para la Representación del conocimiento adquirido en la fase B y se seleccionaron las Herramientas de desarrollo, además, como productos intermedios se obtuvo la definición de una jerarquía del conocimiento, la Base de hechos y la planeación de la Base de conocimiento.

5.3.1 Representación del conocimiento

En esta fase se observó que lo mejor de los Sistemas Basados en Reglas de Producción (SBRP) es que son modulares por lo que se pueden construir pequeñas subdivisiones de sistemas mayores y comprobarlos paso a paso, añadiéndolos al sistema para construir el sistema final de una forma gradual, comprobando y aprobando por separado cada una de las subsecciones, pues el sistema debe funcionar bien desde el principio. [Frenzel, 1989]

Por lo anterior, se eligió la Representación del conocimiento mediante reglas de producción pues además ofrecen la posibilidad de representar los conocimientos de forma uniforme. Se detectaron una gran cantidad de estados independientes y objetivos amplios cuyas acciones son de corto alcance y de toma de decisiones súbita. Actualmente la mayoría de los SE comerciales utilizan esta forma de Representación del conocimiento.

En este caso, se requería que el proceso de incorporar conocimiento en la Base de conocimiento se hiciera de manera rápida, una de las ventajas de los SBRP es que permiten realizar los cambios necesarios con rapidez y facilidad, es importante recordar que los objetivos de los SE son:

- Capturar fácilmente el conjunto de reglas del conocimiento.
- Explotar el conjunto de las reglas del conocimiento.
- Actualizar y revisar las reglas del conocimiento

5.3.2 Herramientas a utilizar para el desarrollo del sistema

Como herramientas de desarrollo se eligieron los shells CLIPS y JESS por ofrecer la forma más rápida, sencilla, económica y fiable para construir el SE, ambos poseen características, mencionadas en la sección 2.11. En general ambas herramientas funcionan en el ambiente de Windows. Soportan la representación del conocimiento mediante reglas de producción, lo cual se adapta al campo de interés. Además son lo suficientemente potentes y extensos para el proyecto al que se destinarán y se adaptan al tamaño de la Base de conocimiento.

Se determinó que la Base de conocimiento a programar, se ajusta al formato de Representación del conocimiento soportado por ambos shells, pues el área de conocimiento en la que se estuvo trabajando llevó a una representación por medio de reglas de producción.



SISTEMA EXPERTO PARA LA INTERPRETACIÓN MAMOGRAFICA

Desarrollo del Sistema Experto



CLIPS fue utilizado, en la etapa inicial del desarrollo del SE, por las siguientes razones:

- Entorno operativo. El shell funciona en Windows, no tiene limitaciones en cuanto al tipo de unidad de disco duro necesario o cantidad de memoria RAM.
- Tipo de shell basado en reglas de producción.
- El lenguaje del shell es fácil de aprender.
- Sistema de control. Método de búsqueda en el Motor de inferencia es encadenamiento hacia adelante.
- Capacidades matemáticas. Permite efectuar cálculos sobre los datos de entrada.
- Lenguajes de programación. Puede intercambiar datos con C o con Java.
- Interfaz con el usuario. Administra de manera adecuada el proceso de comunicación entre el usuario y la computadora (presenta de manera adecuada los datos y presenta menús de selección múltiple).
- Documentación. Existe material escrito disponible para todos los usuarios.
- Software libre. Licencia de dominio público.
- Maduro y potente.

Posteriormente se utilizó JESS detectando las siguientes ventajas en su uso:

- Ofrece la posibilidad tanto de integrar código Java embebido, como realizar aplicaciones Java que utilicen JESS.
- JESS se ha ido influenciando de su origen Java, y es totalmente integrable con dicho lenguaje, pudiéndose escribir programas como aplicaciones estándar. Además existen muchas más posibilidades, como que JESS corra en un servidor y que una interfaz gráfica en el lado cliente llame a éste.
- Utiliza el algoritmo especial Rete, para enlazar reglas y hechos
- Es muy eficiente y ligero.
- Licencia propietaria.
- En el momento de desarrollar la interfaz gráfica, se decidió utilizar código de Java directamente e incluir el código de JESS. De este modo, al tratarse de una interfaz gráfica sencilla, SE logró reducir la complejidad de tener que escribir varias clases Java y su correspondiente código desde JESS.

Otro dato útil que motivó la elección del shell JESS, fue que para cada regla se estima un promedio de 500 bytes. Considerando el efecto del tamaño de la Base de conocimiento en la velocidad de búsqueda y el número máximo de reglas soportado por el shell, JESS utiliza el Algoritmo Rete por lo que la búsqueda de una solución se hace de manera rápida y el rendimiento de éste algoritmo es teóricamente independiente del número de reglas en el sistema.

5.3.3 Diseño del sistema experto

5.3.3.1 Definición de las soluciones

El primer paso para organizar el conocimiento en un área concreta, consistió en indicar todas las posibles soluciones, respuestas, preguntas o recomendaciones. Posteriormente, se identificaron las posibles respuestas que se darían al usuario mediante la interfaz gráfica. En las entrevistas realizadas al experto humano se cubrió una gama lo suficientemente amplia de ejemplos de la resolución de problemas. Para poder abarcar el mayor número posibles respuestas, se anotó cada posible respuesta para que el SE pudiera explicar sus resultados. Dado que se utilizó un SE basado en reglas de producción, la explicación es parte del consecuente de las mismas.



SISTEMA EXPERTO PARA LA INTERPRETACIÓN MAMOGRÁFICA

Desarrollo del Sistema Experto



5.3.3.2 Definición de los datos que hay que suministrar al sistema

El siguiente paso consistió en identificar y relacionar todos los datos que necesitará el usuario, es decir, los hechos que el usuario deberá introducir como respuesta a las preguntas planteadas por el SE. Dichos datos son los que se emplearán en las sentencias SI para muchas de las reglas de producción del sistema. Los datos proporcionados por el usuario serán comparados con las sentencias SI de las reglas para poder iniciar o continuar con el proceso. Con ésta información se puede generar una Base de hechos.

5.3.3.3 Base de hechos

Para la generación de la Base de hechos, fue necesario realizar la abstracción del conocimiento mediante el apoyo de una red semántica, obteniendo lo que se muestra en la Figura 25.

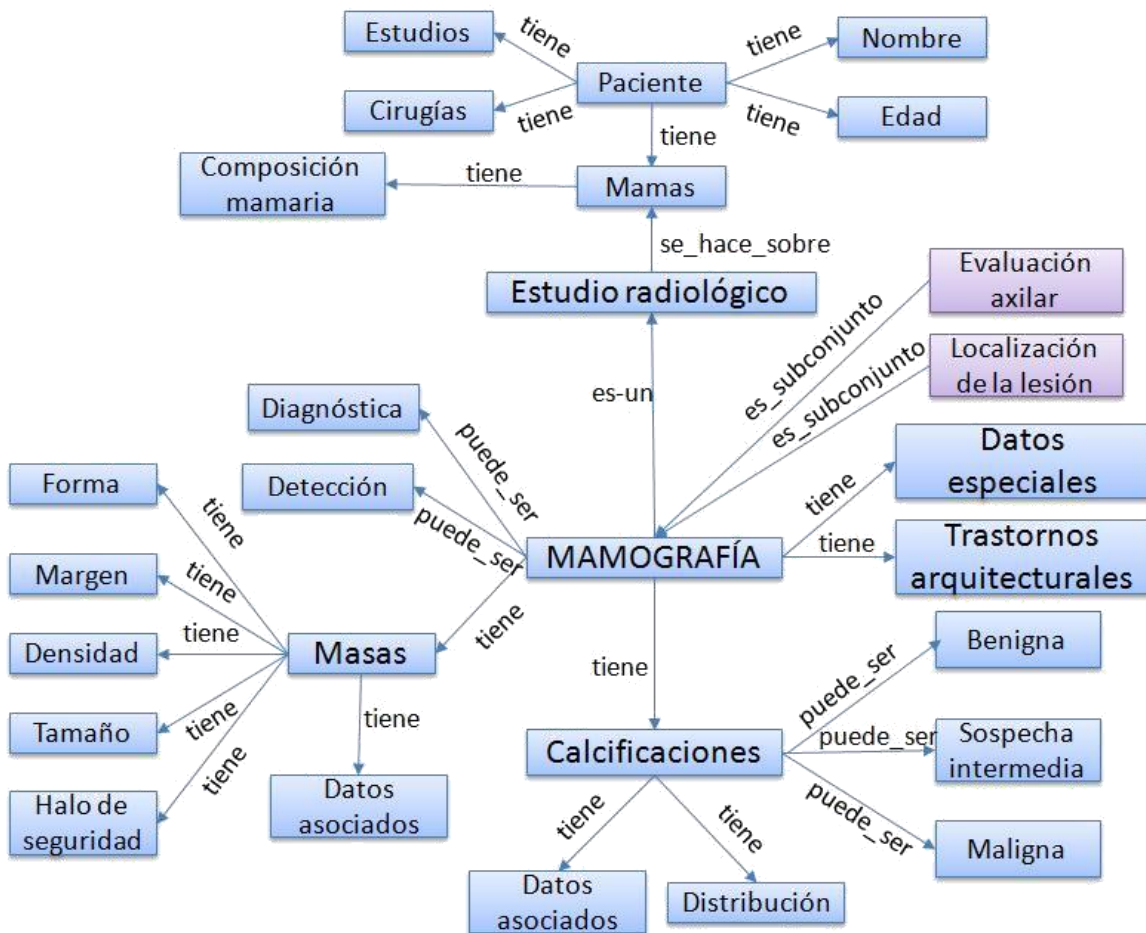


Figura 25 Red semántica del SE para la interpretación mamográfica



SISTEMA EXPERTO PARA LA INTERPRETACIÓN MAMOGRÁFICA

Desarrollo del Sistema Experto



5.3.3.4 Desarrollo de una jerarquía del conocimiento

En particular el área de conocimiento es grande y compleja, por ello se requirió de una estructura adicional para poderla manejar. Al igual que la mayoría de los dominios del conocimiento, se llegó a una clasificación que permitió subdividir y catalogar el conocimiento. La manera de esquematizar mejor el conocimiento fue mediante el uso de un Diagrama para la interpretación mamográfica, mostrado en el Anexo D y un Diagrama de flujo en la Figura 26.

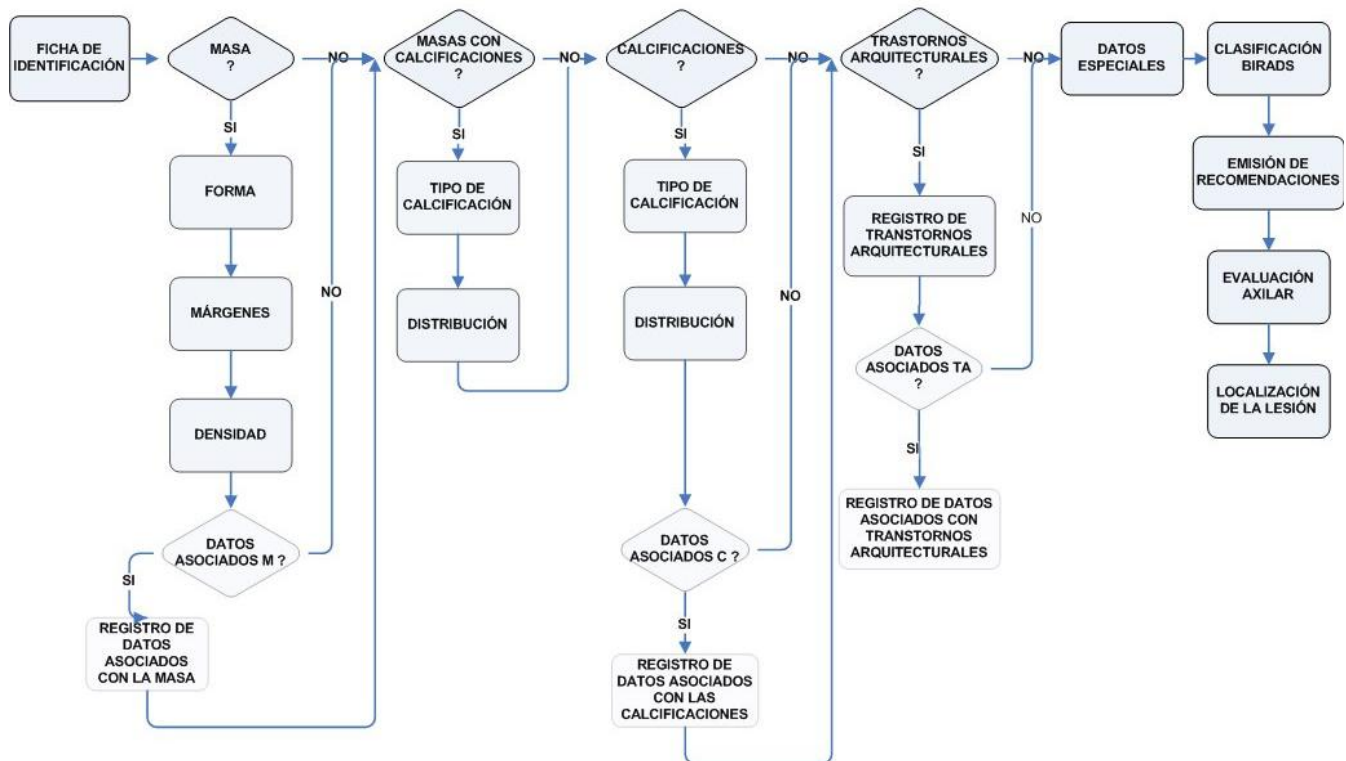


Figura 26 Diagrama de flujo del SE para la interpretación mamográfica

En el diagrama de interpretación, se observa que el conocimiento se encuentra organizado en los siguientes rubros: Ficha de identificación del paciente, Masas, Masas con calcificaciones asociadas, Calcificaciones, Trastornos arquitecturales, Datos especiales, Evaluación axilar y Localización de la lesión, dentro de cada rubro se encuentran subbloques que dan la caracterización de cada bloque.

Debido a que el conocimiento pudo ser organizado en ésta forma, se tuvo mayor seguridad de estar en el camino correcto para construir una Base de conocimiento adecuada.

5.3.4 Planeación de la Base de conocimiento

Debido a que primero se avanzó en gran medida en el proceso de Adquisición del conocimiento, se tuvo muy clara la forma que debería tomar la Base de conocimiento en el programa.

Inicialmente se analizó el rubro de las Masas, las cuales poseen características resultantes de la combinación de las variables identificadas (tamaño, forma, margen y densidad). Después se analizó el rubro de las Masas con calcificaciones asociadas retomando las características de la masa (tipo de calcificación y distribución) y por último el rubro de las Calcificaciones (tipo de calcificación y distribución).

Se determinó por orientación del experto, que los Trastornos arquitecturales y la existencia de Datos especiales no modificaban la clasificación BIRADS dada por las Masas y/o Calcificaciones.



SISTEMA EXPERTO PARA LA INTERPRETACIÓN MAMOGRAFICA

Desarrollo del Sistema Experto



Una vez definidas las reglas para los rubros mencionados, éstas se fueron incorporando a la Base de conocimiento. En un principio, se programó un pequeño conjunto de reglas de producción y se construyó un pequeño prototipo mostrado al experto humano cuya finalidad era explicarle la forma en la que un SE da solución a un problema dado (encadenamiento y activación de reglas), posteriormente fue necesario modificar la organización y la cantidad de reglas conforme se dio seguimiento al proceso de Adquisición del conocimiento.

Las combinaciones de las variables analizadas - que originan las reglas de producción - fueron organizadas en una Base de datos (BD). Esto se logró asignando un identificador a cada combinación y separándolas en los rubros mencionados. Como método para la verificación de la coherencia se realizó un control de versiones de la BD, con el objetivo de controlar el análisis por rubros. Fue necesario generar formularios que extrajeran información de la BD y la presentara de una manera sencilla y amigable al experto humano, para lograrlo, se utilizó Microsoft Access 2007, como información adicional, después de cada sesión con el experto humano (referente a las reglas de producción), se le enviaron por correo electrónico las modificaciones hechas a la BD en un formato con el cual estuviera familiarizado y pudiera manipular (Excel).

Se identificaron 1364 combinaciones: 100 para Masas, 1200 para Masas con calcificaciones asociadas, 64 de Calcificaciones y 6 pertenecen a reglas generales. En conjunto son 20 que clasifican para B0, 90 clasifican para B2, 317 clasifican para B3, 756 clasifican para B4, 181 clasifican para B5. (Ver Anexo E)

Adicionalmente se tienen reglas de producción identificadas y validadas por el experto humano y que aportan clasificaciones directas como en los siguientes casos:

- Cuando la composición mamaria es muy densa, en cuyo caso se asignó la clasificación B0, pues en estos casos, la visibilidad en la mamografía no es óptima y como consecuencia es necesario hacer más estudios.

```
(defrule MAIN::MamaMuyDensa
  (clasificacion nil)
  (composicion (cmpmam "muy_densa"))
  (paciente (nombre ?nom) (mama ?m) (edad ?e) (moteval ?mot) )
  =>
  (printout t crlf "<br><table class=\"ctabla\"> <tr> <td> <br> La composici&oacute;n mamaria de la
  paciente es muy densa, por lo que conviene hacer otros estudios <br></td> </tr> </table><br><br><br>")
  (assert (clasificacion 0)) )
```

- Cuando NO existen Masas, ni Masas con calcificaciones asociadas, ni Calcificaciones, ni Trastornos arquitecturales, en cuyo caso la clasificación será B1 (para una mama normal), tal como lo menciona la documentación del BIRADS.

```
(defrule MAIN::MamaNormalB1; Regla para cuando no existen masas, ni calcificaciones, ni trastornos arquitecturales
  (clasificacion nil)
  (paciente (nombre ?nom) (tmasa "no") (tmc "no") (tcalc "no") (ttrasarq "no"))
  =>
  (assert (clasificacion 1)) ;clasificación definitiva )
```

- Cuando no existen Masas, Masas con calcificaciones o Calcificaciones, pero existen Trastornos arquitecturales, se clasifica como un BIRADS 3.

```
(defrule MAIN::R1TA_1_B3 ; Solo existen trastornos arquitecturales en cualquier mama
  (clasificacion nil)
  (paciente (nombre ?nom) (tmasa "no") (tmc "no") (tcalc "no") (ttrasarq "si"))
  =>
  (assert (clasificacion 3)); clasificación definitiva )
```



SISTEMA EXPERTO PARA LA INTERPRETACIÓN MAMOGRÁFICA

Desarrollo del Sistema Experto



- Cuando existe una masa Redonda u Oval con margen Circunscrito y con densidad Menor o Grasa también se cuestionará la existencia de Halo de Seguridad, si existe, se clasifica como un B2 si no existe se clasifica como un B3.

```
(defrule MAIN::ModificaMasaHaloSeguridad
(declare (salience 8500))
(clasificacion nil)
(composicion (cmpmam ?cmp))
(masahalo (masathalo ?mth))
(paciente (tmasa "si"))
?m <-(masa (masa-pac ?nom) (masa-alo nil))
(test (or (eq ?cmp "grasa") (eq ?cmp "fibroglandular_dispersa") (eq ?cmp "heterogeneamente_densa")))
=>
(modify ?m (masa-alo ?mth))
(if (eq ?mth "si") then (assert (cmasas 2)) else (if (eq ?mth "no") then (assert (cmasas 3)) ) )
(assert (preg halo si)) )
```

Se estableció en pláticas con el experto humano que podían existir cualquier combinación Masas, Masas con calcificaciones asociadas, Calcificaciones, Trastornos arquitecturales o bien podrían existir por separado, por ello se programó cada combinación, determinando que la clasificación BIRADS final estaría determinada por la clasificación mayor dada. A continuación se muestra un ejemplo de ello:

```
(defrule MAIN::M_MC ; Masas y Masas con Calcificaciones
(clasificacion nil)
(modtde si)
(cmcalc ?cmc)
(cmasas ?cm)
?p<- (paciente (nombre ?nom) (tmasa "si") (tmc "si") (tcalc "no"))
=>
(assert (clasificacion (max ?cmc ?cm)))
)

(defrule MAIN::M ; Masas
(clasificacion nil)
(modtde si)
(cmasas ?cm)
?p<- (paciente (nombre ?nom) (tmasa "si") (tmc "no") (tcalc "no"))
=>
(assert (clasificacion ?cm)) )
```

5.4 Fase D. Implementación y pruebas

5.4.1 Implementación

Considerando el objetivo planteado inicialmente:

- Utilizar herramientas de programación especializadas para lograr la óptima interacción del usuario con el sistema.

Se determinó que el sistema podría ser usado por varias personas ubicadas en diferentes lugares por lo que debería ser un SE orientado a Web.

Para lograr el objetivo planteado se seleccionó **Netbeans**, *definido como un IDE (Entorno Integrado de Desarrollo, por sus siglas en inglés)*. Netbeans permite a los programadores escribir, compilar, depurar y ejecutar programas para crear aplicaciones tanto en el lenguaje de programación Java, como en una gran variedad de lenguajes.



SISTEMA EXPERTO PARA LA INTERPRETACIÓN MAMOGRÁFICA

Desarrollo del Sistema Experto



NetBeans permite crear proyectos Java para diversos tipos de aplicaciones (Java, Web y Móviles) que poseen una estructura definida, que permite al IDE manejar adecuadamente los archivos y módulos contenidos en cada proyecto y dado que es un proyecto de código abierto, es gratuito y sin restricciones de uso.

Se utilizó **Tomcat** como contenedor de los JSP's, por definición es *un servidor Web* y es uno de los componentes de la aplicación de JavaSoft del entorno Java 2 Enterprise Edition (J2EE) que es una plataforma de implementación para aplicaciones de Java en la red. Aunque se utilizó software específico, la aplicación que se desarrolló es completamente general y puede ser instalada en cualquier servidor de aplicaciones J2EE compatible. El uso de JESS da la posibilidad de utilizar un motor de reglas mientras se escribe sólo código portable que no está necesariamente ligado a una aplicación particular de J2EE. Tomcat tiene una licencia libre (open source) por lo que se puede descargar de manera gratuita en <http://jakarta.apache.org/tomcat/>.

Se utilizó un equipo de cómputo con las características enunciadas en la siguiente tabla, también se incluyen las características del software:

Hardware	Software
Computadora AMD Athlon 64 X2 Dual-Core a 1.8 GHz	Sistema operativo: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Windows Vista Business. Navegador: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Mozilla Firefox 3.5.5.
2 GB en RAM	Plataforma de desarrollo: <ul style="list-style-type: none"> ▪ NetBeans 6.1. ▪ Apache Tomcat 6.0.16.
2 GB de espacio libre en Disco Duro	Producción del Sistema Experto: <ul style="list-style-type: none"> ▪ CLIPSWin 6.3. ▪ JESS 7.1.
Tarjeta de red 10/100/1000 Mbps	

Tabla 13 Características del equipo de cómputo para el desarrollo del SE

5.4.1.1 Programación de la Base de conocimiento.

5.4.1.1.1 Uso de CLIPS

La forma de programar las reglas se simplificó considerablemente principalmente por dos razones, primero porque la herramienta seleccionada facilitó la adición de conocimiento y segundo porque se fraccionó la Base de conocimiento, tomando como punto de partida la jerarquía del conocimiento (Ver Figura 26), lo que permitió analizar las diferentes porciones del conocimiento.

Como se mencionó con anterioridad se programaron las reglas que incluyen la Base de conocimiento de acuerdo a los bloques o rubros identificados en el Diagrama para la interpretación mamográfica: Masas, Masas con calcificaciones asociadas y Calcificaciones, por lo que fue necesario tener un archivo de control llamado Inicio.clp, el cual controla la carga de las reglas en la Memoria de trabajo y pone a disposición las reglas que cuya activación controla las preguntas que se harán al usuario.

A continuación se muestra un ejemplo de la programación de reglas para Masas:

```
(defrule R35M_86-88_B4;
  (clasificacion nil)
  (paciente (nombre ?nom) (tmasa "si"))
  (masa (masa-pac ?nom) (masa-tam ?mt) (masa-form ?mf) (masa-marg "microlobulado") (masa-dens "heterogenea"))
  (test (or (eq ?mf "oval") (eq ?mf "lobulada") (eq ?mf "irregular")))
  =>
  (assert (cmasas 4)))
```



SISTEMA EXPERTO PARA LA INTERPRETACIÓN MAMOGRÁFICA

Desarrollo del Sistema Experto



Las Masas con calcificaciones asociadas se ejemplifican enseguida:

```
(defrule R457MC_1198-1200_B4 ;
  (clasificacion nil)
  (paciente (nombre ?nom) (tmasa "si"))
  (masa (masa-tc "si") (masa-pac ?nom) (masa-form "oval") (masa-marg "espiculado") (masa-dens ?md)
  (masa-calc ?mca) (masa-calc-nivel benignas) (masa-calc-dist "dispersas"))
  (test (or (eq ?md "menor") (eq ?md "grasa") (eq ?md "heterogenea")))
=>
  (assert (cmcalc 4)) )
```

Un ejemplo de regla de producción para Calcificaciones se muestra a continuación:

```
(defrule R12C_53-64_B2 ;
  (clasificacion nil)
  (paciente (nombre ?nom) (tcalc "si"))
  (calcificaciones (calc-pac ?nom) (calc ?ca) (calc-nivel benignas) (calc-dist "lineales"))
  (test (or (eq ?ca "cutaneas") (eq ?ca "vasculares") (eq ?ca "palomita_maiz") (eq ?ca "secretoras") (eq ?ca "redondeadas")
  (eq ?ca "cascara_huevo") (eq ?ca "intraquisticas") (eq ?ca "suturas_calcificadas") (eq ?ca "distroficas") (eq ?ca "puntiformes")
  (eq ?ca "esfericas_centro_claro") (eq ?ca "finas_forma_baston")))
=>
  (assert (ccalc 2)))
```

Acciones como la organización de las combinaciones de variables (reglas de producción) en una Base de datos (BD) facilitaron la programación de las reglas en CLIPS, pues se identificaron bloques de reglas que podrían ser simplificadas en el programa, por otro lado, la asignación de un nombre único por regla de producción en la Base de conocimiento, proporcionó una técnica muy útil para la identificación y reducción de errores, por ejemplo, las reglas de producción para el rubro de Masas poseen un nombre único compuesto como sigue: R&M_#_BX en donde R= Regla &= No. de regla en CLIPS M= Masas #= id. en BD Access B= BIRADS X(1,2,3,4 o 5).

Las reglas incluidas en la Base de conocimiento resuelven los casos que se exponen en el Arbol de decisión del Anexo F.

En total, la Base de conocimiento contiene 561 reglas de producción y se utilizó encadenamiento hacia adelante, pues el usuario proporciona sentencias verdaderas agregadas como hechos a la Memoria de trabajo del SE para llevar a cabo el proceso de inferencia. (Consultar Anexo I y sección 5.4.2)

Se trabajó en la programación de reglas cuya activación tiene como consecuencia la carga únicamente de las reglas necesarias en la Memoria de trabajo.

La versión de CLIPS para Windows, CLIPSWin, ofrece de manera sencilla la posibilidad de visualizar las reglas, los hechos, las activaciones en la Memoria de trabajo además de elementos como la agenda. Se detectó que ésta versión presenta una característica a considerar, los archivos que se pueden generar tienen un límite máximo de 32 Kb. En este caso no es un factor a considerar pues por diseño, las reglas que conforman la Base de conocimiento están separadas en varios archivos.

Adicionalmente, del uso constante y la experiencia adquirida con CLIPS se pudo percibir su evolución atribuida a que la licencia es libre y las contribuciones hechas por diferentes personas han enriquecido a este shell.



SISTEMA EXPERTO PARA LA INTERPRETACIÓN MAMOGRÁFICA

Desarrollo del Sistema Experto



5.4.1.1.2 Uso de JESS

La sintaxis de JESS y CLIPS son muy parecidas entre sí por lo que es importante recordar que el primero se derivó del segundo, por lo que interactuar con ambos es fácil, sólo es necesario identificar algunos comandos que difieren y hacer consideraciones tales como el orden de ejecución de las reglas. En el Motor de inferencia de CLIPS la ejecución, por definición, se lleva a cabo considerando el orden de aparición de las reglas en la Base de conocimiento, es decir, coloca las reglas en una cola. En tanto que en el Motor de inferencia de JESS se lleva a cabo de forma contraria, es decir, en una pila. Por lo anterior en JESS se introdujo la propiedad *saliency* para “controlar” la activación de dichas reglas. (Ver Figura 27)

```
....  
(defrule MAIN::TieneMasas ; Pregunta si hay masas en la mamografía  
(declare (saliency 10000))  
(clasificacion nil)  
(composicion (cmpmam ?cmp))  
(test (or (eq ?cmp "grasa") (eq ?cmp "fibroglandular_dispersa") (eq ?cmp "heterogeneamente_densa"))))  
=>  
(masas "Identifica en la mamografía la presencia de MASAS?" masas)  
)  
....
```

Figura 27 Ejemplo de la declaración de una regla usando JESS y la propiedad *saliency*

5.4.1.2 Desarrollo de la aplicación Web

Se llama aplicación Web refiriéndose a las aplicaciones que utilizan protocolos HTTP y HTTPS. Hay muchas formas de implementar aplicaciones en la Web y todo el tiempo se están desarrollando nuevos métodos y muchos de éstos sustituyen a los tradicionales, haciendo difícil usar algún término absoluto para describir lo que es posible en la Web.

5.4.1.2.1 Inclusión de JESS en aplicaciones de Java

Entre las características más potentes de JESS se encuentran aquellas que permiten su fácil integración con Java. Para el SE desarrollado, esta integración permitió cumplir con el objetivo planteado de ofrecer al usuario una interfaz gráfica amigable. Así, desde el código de Java, se puede acceder a todas las partes de la librería de JESS, de modo que es viable integrar JESS en cualquier aplicación Java, JSP's, servlets, applets, u otra tecnología. De la misma forma, desde el lenguaje JESS, las capacidades de Java están directamente disponibles.

Para poder utilizar la funcionalidad de JESS mediante el uso de la librería *jess.jar*, debe estar integrada dentro de alguna aplicación como un servidor Web, un servidor de aplicaciones e incluso en un navegador, por lo que fue necesario utilizar la librería de JESS y ubicarla en el siguiente directorio:

```
$(TOMCAT)/lib/jess.jar
```

La utilización de la librería de JESS facilita el desarrollo de una aplicación Web basada en reglas. Una vez ubicada la librería en el directorio especificado, se realizaron las pruebas de funcionamiento y se experimentó con diversos métodos a los que se puede acceder mediante dicha librería. Con la librería se pueden crear cualquier número de Motores de inferencia de JESS, se pueden definir reglas para ellos, agregar datos a la Memoria de trabajo, ejecutar dichos Motores de inferencia en hilos separados y recoger todos los resultados generados, usando código de Java, sin utilizar la consola de JESS.



SISTEMA EXPERTO PARA LA INTERPRETACIÓN MAMOGRÁFICA

Desarrollo del Sistema Experto



5.4.1.2.2 Inicializando JESS en el ambiente de Java

El núcleo de la biblioteca de JESS es la clase `jess.Rete`. Un ejemplo de `jess.Rete` es, en cierto sentido, un ejemplo de JESS, pues muchas de las funciones más importantes para el lenguaje JESS - `run`, `reset`, `clear`, `assert` - sólo corresponden a las llamadas a métodos de Java en los casos de esta clase (`run()`, `reset()`, `clear()`, `assertFact()`). Al iniciar JESS desde la línea de comandos, es creada una instancia de `jess.Rete` y todas las reglas y hechos del programa en ejecución, pertenecen a esa instancia.

Toda instancia de la clase `jess.Rete` tiene su propia Memoria de trabajo independiente, su propio conjunto de reglas y su propio conjunto de funciones. La clase `Rete` exporta métodos para agregar, encontrar y remover hechos, reglas, funciones y otros constructores.

La forma de crear un objeto `jess.Rete` es por medio de un constructor: (Ver Figura 28)

```
import jess.*;
...
Rete engine = new Rete();
```

```
....
protected void checkInitialized() throws ServletException {
    ServletContext servletContext = getServletContext();
    String rulesFile = servletContext.getInitParameter("rulesfile");
    if (servletContext.getAttribute("rete") == null) {
        try {
            System.gc();
            //Creando el motor de JESS
            Rete rete = new Rete(this);
            //Carga la base de conocimientos
            rete.batch(rulesFile);
            //ejecuta el comando reset de jess necesario para inicializar la BC
            rete.reset();
            servletContext.setAttribute("rete", rete);
        } catch (Exception je) {
            throw new ServletException(je);
        }
    }
}
....
```

Figura 28 Inicialización del Motor de JESS

5.4.1.2.3 Descripción del algoritmo Rete en JESS

JESS usa el rápido y eficiente algoritmo Rete para el “pattern matching”. La eficiencia del algoritmo Rete se centra en que usa una porción de la memoria para almacenar la información del éxito o falla del “pattern matching” en ciclos previos. El algoritmo Rete construye una red de nodos del “pattern matching”. JESS hace uso de diferentes clases de nodos especiales para el manejo de algunos elementos condicionales como `not` y `test`, así como comportamientos especiales en algunos nodos para manipular el encadenamiento hacia atrás. A continuación, se hace una breve descripción de cómo se implementó el algoritmo Rete en JESS. Éste algoritmo elimina la ineficiencia de un simple “pattern matching” y recuerda los resultados de las evaluaciones pasadas a través de iteraciones del ciclo de las reglas. En cada paso, únicamente se evalúan nuevos elementos de la memoria de trabajo o elementos eliminados con las reglas. Rete organiza el “pattern matching” para que solamente estos nuevos hechos sean evaluados contra el subconjunto de reglas que actualmente pueden hacer `match`.



SISTEMA EXPERTO PARA LA INTERPRETACIÓN MAMOGRÁFICA

Desarrollo del Sistema Experto



El Algoritmo Rete fue implementado para construir una red de nodos interconectados. Cada nodo representa una o más evaluaciones encontradas en el antecedente de la regla. Un nodo tiene una o dos entradas y cualquier número de salidas. Los hechos que son agregados o eliminados de la memoria de trabajo son procesados por esta red de nodos. Los nodos de entrada están en el “tope” de la red y los nodos de salida están al final. Estos nodos juntos forman la red Rete.

En el “tope” de la red, los nodos de entrada separan los hechos en categorías de acuerdo al contenido en su “cabeza”. Dentro de la red, se efectúan finas discriminaciones y asociaciones entre los hechos, hasta que llegan al fondo (bottom). En el fondo de la red, los nodos representan reglas individuales. Cuando un conjunto de hechos filtra todo hacia el fondo de la red, significa que han pasado todas las evaluaciones del antecedente de una regla en particular; este conjunto junto con la misma regla, pasan a formar un nuevo registro de activación o un comando para cancelar previamente, en el registro de activación existente.

La red está compuesta de dos amplias categorías:

- Nodos de una entrada que ejecutan evaluaciones de hechos individuales.
- Nodos de dos entradas que efectúan evaluaciones a través de múltiples hechos.

5.4.1.2.4 Interfaz gráfica

Como parte de la aplicación Web, se generó material estático informativo para consulta de los usuarios, se encuentra organizado en las siguientes categorías: Cáncer de Mama, BIRADS, Sistemas Expertos y Sistema Experto para la Interpretación Mamográfica (SEIM). Se puede acceder a él mediante un menú dinámico. A la par, se trabajó en el manejo de una hoja de estilos en cascada externa (CSS: Cascading Style Sheets), que facilitan la estandarización de la vista al usuario.

Se utilizaron JSP's, por la facilidad que ofrecen para integrar JESS al ambiente Web, para lograrlo se hicieron modificaciones en la Base de conocimiento para la óptima interacción con la aplicación Web. A continuación se describen los puntos más importantes cubiertos en la construcción de la interfaz gráfica.

➤ JavaServer Pages (JSP)

Los JSP's son sólo una de las formas de implementar la parte del servidor de las aplicaciones en Java. Un **JSP** es una *página HTML con código Java embebido*. Los JSP's son compilados por un programa especial en el servidor Web, ocasionalmente se encuentran dentro de servlets y luego son ejecutados en respuesta a las solicitudes del navegador. Los servlets son ideales cuando un componente del servidor tiene que hacer una gran cantidad de trabajo y producir sólo una pequeña cantidad de código HTML, los JSP's son perfectos cuando la página en HTML necesita procesar poca cantidad de información. Los servlets y los JSP's a menudo son usados juntos, con los JSP's se proporciona un interfaz y los servlets proporcionan la lógica.

Lo mejor de un JSP es que puede ser escrito con un editor regular de HTML. El mantenimiento de una página Web basada en JSP's no es muy diferente al mantenimiento de un sitio construido a partir de páginas HTML estáticas. [Friedman Hill, 2003]

Los JSP's forman parte de las aplicaciones de tipo “thin client”, que son aplicaciones que poseen una arquitectura en la cual la mayoría del código específico de la aplicación se ejecuta en el servidor. Este tipo de aplicaciones ofrecen ventajas como las siguientes:

- Se requiere poco procesamiento por parte del cliente, dado que el código se ejecuta en el servidor.
- Únicamente se necesitan unos cuantos requerimientos en el cliente, por lo que la compatibilidad no resulta un problema.
- Las actualizaciones se efectúan fácilmente, puesto que tienen lugar en el servidor.

En este caso la utilización de JSP's es razonable pues el nivel de procesamiento necesario no es muy alto, el manejo de los datos dados por el usuario es mediante un formulario en donde los datos se direccionan hacia algún JSP que los recupera con el método `getParameter` del objeto `request`. El JSP manipula dichos datos



SISTEMA EXPERTO PARA LA INTERPRETACIÓN MAMOGRAFICA

Desarrollo del Sistema Experto



con la finalidad de agregar hechos a la Memoria de trabajo de JESS y de ésta forma obtener acceso al objeto `jess.Fact`, como se muestra a continuación:

```
import jess.*;
...
Rete engine = new Rete();
Value v = engine.executeCommand("(assert (caractmasas si))");
Fact f = v.factValue(engine.getGlobalContext());
```

O bien de la siguiente forma:

```
mtam = request.getParameter("masaTam");
Rete rete = new Rete();
Fact carmasa= new Fact("masamod",rete);
carmasa.setSlotValue("mtam", new Value(mtam, RU.STRING));
rete.assertFact(carmasa);
```

En el código anterior se crea un hecho en Java de nombre `carmasa` y se le pasa un argumento de nombre `masamod` que es un template creado en la Memoria de trabajo del objeto `rete` en JESS. Después con el método `setSlotValue` del objeto `carmasa` se le asigna el dato `mtam` recuperado de un formulario por el JSP. Por último se ejecuta el método `assertFact`. (Ver Figura 29)

```
<%@page contentType="text/html" pageEncoding="UTF-8"%>
<%@page import="jess.*"%>
<jsp:useBean id="rete" class="jess.Rete" scope="application"/>

<% String mtam = request.getParameter("masaTam");
String mform = request.getParameter("masaForma");
String mmarg = request.getParameter("masaMargen");
String mdens = request.getParameter("masaDensidad");%>

<html>
<head>
<meta http-equiv="Content-Type" content="text/html; charset=UTF-8">
<link href="<%=request.getContextPath()%>/styles/estilos.css" rel="stylesheet" type="text/css">
</head>
<body><div align="center">
<%
    rete.addOutputRouter("t", out);
    rete.addOutputRouter("WSTDOUT", out);
    rete.addOutputRouter("WSTDERR", out);
    //Creando un hecho en Java para JESS de nombre carmasa
    Fact carmasa= new Fact("masamod",rete);
    //Asignando los valores a cada slot, provenientes del formulario
    carmasa.setSlotValue("mtam", new Value(mtam, RU.STRING));
    carmasa.setSlotValue("mform", new Value(mform, RU.STRING));
    carmasa.setSlotValue("mmarg", new Value(mmarg, RU.STRING));
    carmasa.setSlotValue("mdens", new Value(mdens, RU.STRING));
    rete.assertFact(carmasa);
    rete.run();
    rete.executeCommand("(facts)"); %>
</div> </body> </html>
```

Figura 29 Ejemplo de la manipulación de la Memoria de trabajo desde Java



SISTEMA EXPERTO PARA LA INTERPRETACIÓN MAMOGRÁFICA

Desarrollo del Sistema Experto



➤ Modificación de la Base de conocimiento

Para que JESS pueda interactuar con los JSP's, fue necesario realizar modificaciones o adaptaciones a la Base de conocimiento, pues, lo que se necesitaba era que JESS enviara las diferentes preguntas al usuario como normalmente lo haría desde la línea de comandos, pero dentro del ambiente Web. Dado que JESS puede enviar una cadena de caracteres (código HTML) que puede ser interpretada por el navegador Web, las modificaciones hechas a la Base de conocimiento estuvieron orientadas hacia la activación de reglas que realizaran una llamada a diferentes funciones que desplegaran código HTML. De esta forma se pudo direccionar las respuestas dadas por el usuario a diferentes JSP's, como se muestra en la Figura 30. Es importante mencionar que las reglas están previamente cargadas en la Memoria de trabajo, no se agregan en cada JSP.

```
....
;-----FUNCIÓN que envía como salida código HTML----
(deffunction composicion (?prompt ?factName)
  (printout t "<h2 class=\"titizq\"> Identificaci&oacute;n de la composici&oacute;n mamaria </h2><br>")
  (printout t "<FORM id=\"composicionMamaria\" name=\"composicionMamaria\" method=\"post\"
  action=\"general_jsp/Composicion.jsp\">")
  (printout t "<fieldset class=\"cfieldset\"> <legend class=\"clegend\">Composici&oacute;n mamaria de la
  paciente</legend>")
  (printout t "<table width=\"100%\" border=\"0\" cellspacing=\"0\" cellpadding=\"0\" class=\"ctabla\"
  align=\"center\"> <tr> <td class=\"ccelda\"> <p><br>")
  (printout t ?prompt "</td></tr><tr> <td align=\"center\"><br><label><select name=\"cmp\" id=\"cmp\">")
  (printout t "<option value=\"grasa\">Grasa</option> <option
  value=\"fibroglandular_dispersa\">Fibroglandular dispersa</option>")
  (printout t "<option value=\"heterogeneamente_densa\">Heterog&eacute;neamente densa</option> <option
  value=\"muy_densa\">Muy densa</option></select></label> </td> </tr>")
  (printout t "<tr> <td align=\"center\"> <br><br> <INPUT TYPE=\"submit\" VALUE=\"Enter\"> </td>
  </tr></table></fieldset></FORM>")
  )
....
```

Figura 30 Ejemplo de función printout que contiene código HTML

Lo anterior pudo llevarse a cabo utilizando la función `printout` para recopilar la salida de la pantalla de JESS en Java. A continuación se presenta un ejemplo del funcionamiento de esta función y su integración con Java:

```
(printout t "Enter 'y' or 'n': ")
```

El primer argumento `t` de la función `printout` es un router, un símbolo que le indica a JESS hacia donde enviar la salida. Se pueden construir diferentes routers en JESS, por ejemplo: texto enviado a `t`, `WSTDOUT` o `WSTDERR`, todo puede ser enviado de manera predefinida a `System.out`, y los datos leídos de `t` vienen de `System.in`. Los routers `W*` son usados internamente por JESS. `WSTDOUT` es en donde JESS manda la salida del prompt `JESS>` y el resultado de la evaluación de una expresión escrita desde el prompt. `WSTDERR` es usado para los mensajes de error internos. [Friedman Hill, 2003]

Un router es en realidad un nombre simbólico para un `java.io.Reader` (para la entrada) o un `java.io.Writer` (para la salida). Cada objeto `jess.Rete` mantiene su propia tabla de routers (hay tablas separadas para los routers de entrada y de salida, al igual que `t`, son independientes).



SISTEMA EXPERTO PARA LA INTERPRETACIÓN MAMOGRAFICA

Desarrollo del Sistema Experto



Cuando JESS está integrado en una aplicación Web en Java, se debe definir un nuevo router que envíe la salida de JESS hacia un lugar distinto del System.out. Es posible definir un nuevo router con una java.io.StringWriter y la función printout puede enviar información a una cadena de caracteres y esa cadena puede ser recuperada cuando sea necesario por la aplicación. Para definir un router llamado "t", se puede hacer lo siguiente:

```
PrintWriter out = response.getWriter();
rete.addOutputRouter("t", out);
rete.addOutputRouter("WSTDOUT", out);
rete.addOutputRouter("WSTDERR", out);
```

Si a continuación, se ejecuta la instrucción JESS (printout t 12345 crlf), una llamada posterior a out.ToString () devuelve la cadena "12345 \n". (Ver Figura 29)

➤ Visualización del objeto Rete en los JSP's

Una vez que se determinó el manejo de un objeto de la clase jess.Rete, lo siguiente fue determinar la forma en la cual los JSP's, podían tener acceso a dicho objeto y realizar cambios en la misma Memoria de trabajo. En este caso se solucionó mediante el uso de la etiqueta jsp:useBean que extrae automáticamente el objeto Rete HttpServletRequest y lo asigna a una variable del tipo correcto (Ver Figura 31). Un JavaBean es un tipo especial de clase que contiene cierto número de métodos. La página JSP puede llamar a estos métodos y dejar la mayor parte del código en el JavaBean. Para utilizar un JavaBean dentro de un JSP se utiliza la siguiente sintaxis:

```
<jsp: usebean id= "... "class="..." scope="application">
```

Con un atributo llamado scope que define el ámbito de visibilidad de un Bean y limita la existencia a ese ámbito, los scopes válidos para los JavaBeans son:

- Page: válido hasta que la página se complete, es el valor por defecto.
- Request: la instancia del Bean se mantiene por toda la solicitud del cliente.
- Session: la instancia del Bean se mantiene durante la sesión de un cliente.
- Application: se crea la instancia de un Bean y termina hasta que la aplicación finaliza.

```
<%@page contentType="text/html" pageEncoding="UTF-8"%>
<%@page import= "jess.*"%>
<jsp:useBean id="rete" class="jess.Rete" scope="application"/>

<html>
<head>
<meta http-equiv="Content-Type" content="text/html; charset=UTF-8">
<title>Composici&ocaron; mamaria</title>
<link href="<%=request.getContextPath()%>/styles/estilos.css" rel="stylesheet" type="text/css">
</head>
<body>
<div align="center">
<%
//Conectando la salida de JESS al Writer out señala que se enviará al navegador
rete.addOutputRouter("t", out);
rete.addOutputRouter("WSTDOUT", out);
rete.addOutputRouter("WSTDERR", out);
rete.run();
%>
</div> </body> </html>
```

Figura 31 Ejemplo de la integración de JESS y Java



SISTEMA EXPERTO PARA LA INTERPRETACIÓN MAMOGRÁFICA

Desarrollo del Sistema Experto



5.4.1.2.5 Base de datos

Se utilizó MySQL Server 5 para generar un banco ordenado de datos conformado por los hallazgos mamográficos de los diferentes rubros identificados.

Se realizó el modelado de la Base de datos en un manejador gráfico para MySQL obteniendo el siguiente Diagrama Entidad Relación (DER):

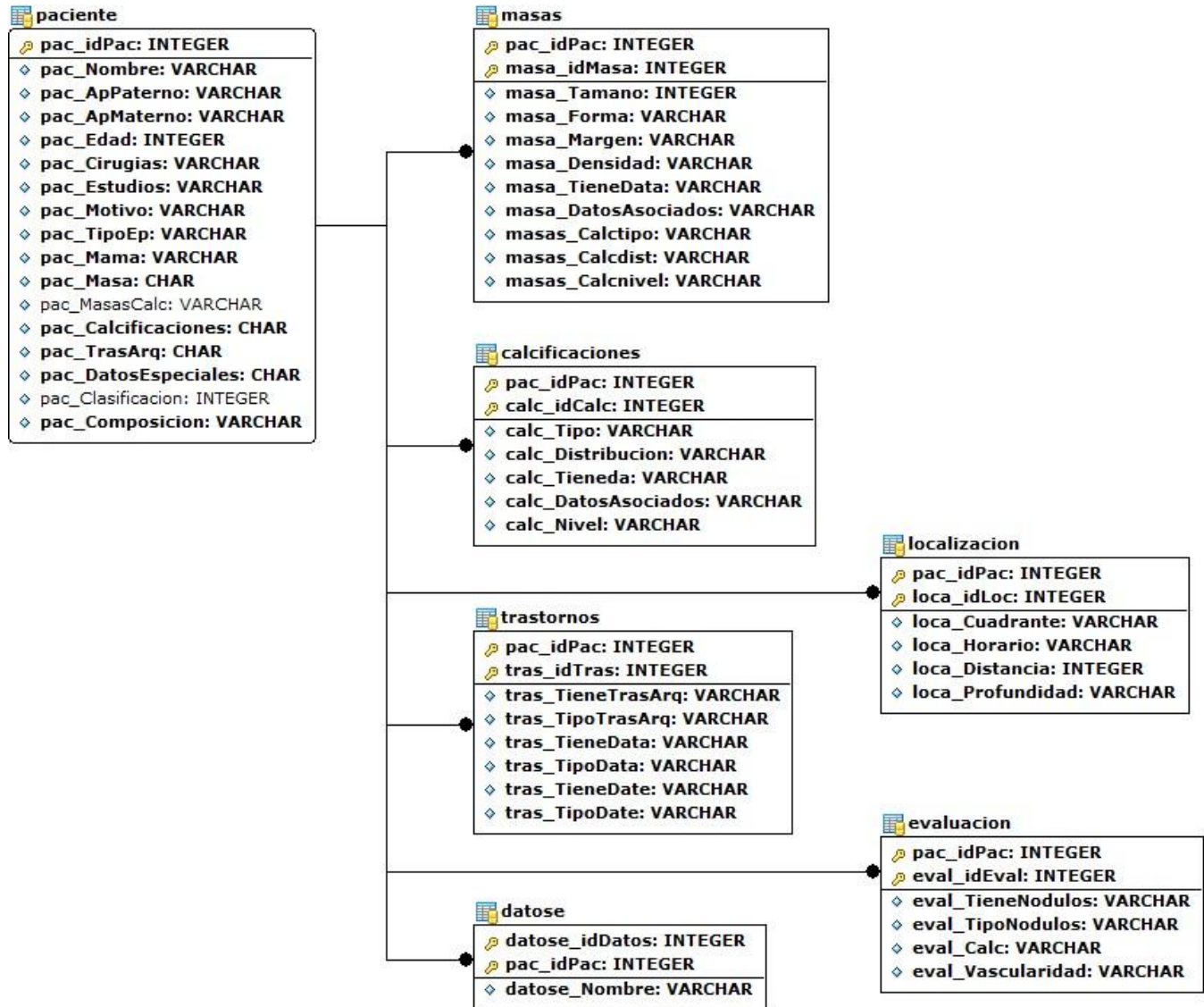


Figura 32 Diagrama entidad relación del SE para la interpretación mamográfica

Posteriormente se programó la clase ConnectionFactory por medio de la cual se estableció la comunicación con la Base de datos y permite insertar los datos en ella. (Ver Figura 33)

El diccionario de datos correspondiente al DER de la figura 32, se encuentra en el Anexo H.



SISTEMA EXPERTO PARA LA INTERPRETACIÓN MAMOGRÁFICA

Desarrollo del Sistema Experto



```
package Conexion;

/** @author Areli */

import java.sql.*;
public class ConnectionFactory
{
    private static ConnectionFactory ref = new ConnectionFactory();
    public ConnectionFactory() {
        try{
            Class.forName("com.mysql.jdbc.Driver"); }
        catch(ClassNotFoundException error){
            error.printStackTrace();
            System.out.println("Fallo al cargar el Driver"); }
    }
    public static Connection getConnection() throws SQLException {
        String url = "jdbc:mysql://localhost:3308/cancer?" + "user=root&password=root";
        return DriverManager.getConnection(url);
    }
    public static void main (String arg[]){
        Connection conexion;
        try{
            conexion = ConnectionFactory.getConnection();
            System.out.println("Conexion a BD realizada");
        }catch(Exception ex){
            ex.printStackTrace(); }
    }
}
```

Figura 33 Clase ConnectionFactory

5.4.1.3 Identificación de módulos de la aplicación Web

El sistema contempla los siguientes módulos:

- **Identificación de la paciente.** En el cual se registran datos generales de la paciente, entre los que se encuentran: nombre, edad, composición mamaria, el motivo de la evaluación, si tiene estudios o cirugías previas y la clasificación BIRADS dada a estos estudios.
- **Clasificación de los hallazgos.** Es en donde se registra tanto la existencia de Masas, Masas con Calcificaciones, Calcificaciones y/o Trastornos arquitecturales, como sus características, todo ello con el propósito de clasificar los hallazgos en las categorías establecidas por el modelo estándar de clasificación internacional BIRADS. Dentro de éste módulo se encuentra el registro de datos asociados y datos especiales que son tomados como información adicional.
- **Conclusiones y emisión de recomendaciones.** En esta parte se presentará la conclusión final de la evaluación, es decir, una clasificación de B0 a B5 y se emitirán algunas recomendaciones guiadas por el experto humano, sobre acciones futuras para la paciente. (Consultar sección 4.4.1)
- **Evaluación axilar.** Es trascendental que se contemple ya que de acuerdo a observaciones hechas por el experto humano, dicha evaluación no siempre es realizada por el radiólogo, sin embargo es muy importante por el significado de los hallazgos detectados en esta parte. Se registra la existencia de nódulos, ganglios, calcificaciones y vascularidad.
- **Localización de la lesión.** Se incluye como parte del reporte final, los datos registrados servirán mayormente cuando sea necesario efectuar una cirugía. Se registran datos como el cuadrante, el horario, la distancia del pezón y la profundidad de la lesión.



SISTEMA EXPERTO PARA LA INTERPRETACIÓN MAMOGRÁFICA

Desarrollo del Sistema Experto



En los diferentes módulos se despliegan diferentes pantallas mostradas en el Anexo G.

5.4.1.4 Descripción de general del funcionamiento de la aplicación Web

El SE ofrece una solución para los casos que se muestran en el árbol de decisión ubicado en el Anexo F.

A continuación se describirá el funcionamiento general del sistema.

1. Inicialmente se mostrará al usuario una pantalla de bienvenida como la siguiente:

¡BIENVENIDOS!

El Sistema Experto para Interpretación Mamográfica (SEIM) es un sistema cuyo dominio de conocimiento es el Cáncer de Mama, por lo que brinda apoyo a los expertos, semiexpertos y radiólogos generales, cuando se trata de interpretar una mamografía y generar un reporte final basado en el estándar internacional Breast Imaging Reporting and Data System (BIRADS). El sistema se basa en una serie de formularios en los cuales, el usuario debe proporcionar datos específicos sobre hallazgos encontrados en una mamografía, dichos datos servirán al sistema para determinar la clasificación BIRADS y como consecuencia una serie de recomendaciones hechas para cada clasificación.

Adicionalmente se proporciona material de apoyo para contextualizar al usuario en el estándar internacional BIRADS, así como información básica sobre los Sistemas Expertos e información particular sobre el SEIM.

Continuar

Figura 34 Bienvenida

2. Al hacer clic sobre el botón “continuar” se abre un formulario como el siguiente:

Ficha de identificación

Datos generales de la paciente	
¿Cuál es el nombre de la paciente?	Nombre: * <input type="text"/>
	Apellido Paterno: <input type="text"/>
	Apellido Materno: <input type="text"/>
¿Cuál es la edad de la paciente? *	<input type="text"/>
¿Qué mama se evaluará?	Seleccione---- ▾
Datos clínicos de la paciente	
¿Cuál es el motivo de evaluación?	Seleccione---- ▾
¿Ha tenido cirugías previas?	Sí <input checked="" type="radio"/> No <input type="radio"/>
¿Tiene estudios previos?	Sí <input checked="" type="radio"/> No <input type="radio"/>
¿Cuál es el resultado de esos estudios?	Seleccione---- ▾

Continuar

Cancelar

Figura 35 Ficha de identificación



SISTEMA EXPERTO PARA LA INTERPRETACIÓN MAMOGRAFICA

Desarrollo del Sistema Experto



3. Los campos obligatorios están marcados con un asterisco rojo. Una vez proporcionada la información solicitada y hacer clic en el botón “continuar”, se inicializa la Base de conocimiento. Aquí se pregunta sobre la composición mamaria de la paciente:

Composición mamaria de la paciente

Identificación de la composición mamaria

¿Cuál es la composición mamaria que presenta la paciente?

Grasa

Continuar

Figura 36 Pregunta sobre la composición mamaria

4. A continuación se pregunta sobre la existencia de Masas:

Masas

Existencia de Masas

Identifica en la mamografía la presencia de MASAS?

Sí No

Continuar

Figura 37 Pregunta sobre la existencia de Masas

5. En caso de existir Masas, se realiza una caracterización de las mismas. En caso contrario, se pregunta sobre la existencia de Calcificaciones:

Masas

Caracterización de las masas

¿Cuál es el TAMAÑO de la masa? (en mm)*

Identifique la FORMA de la masa Redonda ▾

Identifique el MARGEN de la masa Circunscrito ▾

Identifique la DENSIDAD de la masa Isodensa ▾

Datos asociados

¿La masa tiene DATOS ASOCIADOS? Sí No

Tipo de datos asociados Seleccione----

Continuar

Figura 38 Formulario para la caracterización de Masas



SISTEMA EXPERTO PARA LA INTERPRETACIÓN MAMOGRÁFICA

Desarrollo del Sistema Experto



6. Posteriormente se pregunta sobre la existencia de Masas con calcificaciones asociadas:

Masas y Calcificaciones

Existencia de Masas con Calcificaciones asociadas

¿La MASA identificada tiene CALCIFICACIONES asociadas?

Sí No

Continuar

Figura 39 Pregunta sobre la existencia de Masas con calcificaciones asociadas

7. Si existen Masas con calcificaciones asociadas, dichas calcificaciones se caracterizan:

Masas y Calcificaciones

Caracterización de las CALCIFICACIONES asociadas a las MASAS

¿Qué tipo de calcificaciones asociadas a las masas están presentes en la mamografía? Cutáneas ▾

¿Qué distribución tienen las calcificaciones asociadas a las masas, en la mamografía? Agrupadas ▾

Continuar

Figura 40 Formulario para la caracterización de Masas con calcificaciones asociadas

8. En seguida, se pregunta sobre la existencia de Calcificaciones:

Calcificaciones

Existencia de calcificaciones

¿Identifica en la mamografía la presencia de CALCIFICACIONES?

Sí No

Continuar

Figura 41 Pregunta sobre la existencia de Calcificaciones



SISTEMA EXPERTO PARA LA INTERPRETACIÓN MAMOGRÁFICA

Desarrollo del Sistema Experto



9. En caso de existir Calcificaciones, se caracterizan. Se solicitan al usuario los datos que se muestran a continuación:

Calcificaciones

Registro de características de las CALCIFICACIONES

¿Qué calcificaciones encuentra en la mamografía?

¿Que distribución tienen las calcificaciones en la mamografía?

Datos asociados

¿Tiene DATOS ASOCIADOS? Sí No

Tipo de datos asociados

Continuar

Figura 42 Formulario para caracterización de las Calcificaciones

10. A continuación se registra la existencia de Trastornos arquitecturales y Datos especiales:

Trastornos arquitecturales y Datos especiales

Trastornos arquitecturales

¿Identifica en la mamografía la presencia de TRASTORNOS ARQUITECTURALES? Sí No

Tipo de trastornos arquitecturales Sí No

Tipo de datos asociados Sí No

Tipo de datos especiales

Continuar

Figura 43 Formulario de Trastornos arquitecturales y Datos especiales



SISTEMA EXPERTO PARA LA INTERPRETACIÓN MAMOGRÁFICA

Desarrollo del Sistema Experto



11. Posteriormente el SE muestra al usuario la clasificación correspondiente a los hallazgos mamográficos previamente registrados:

CLASIFICACION	
Clasificación	BIRADS 3
Conclusión	HALLAZGOS PROBABLEMENTE BENIGNOS Lo recomendable es evaluación con otras imágenes y seguimiento a corto plazo.
Recomendaciones	Puede ser necesario realizar más proyecciones (Vg. cono de compresión) o complementar con ultrasonido

Continuar

Figura 44 Clasificación

12. Al hacer clic en el botón “continuar”, se muestra el formulario que corresponde al registro de la Evaluación axilar y Localización de la lesión, mostrado a continuación:

Evaluación axilar y localización de la lesión

Evaluación axilar	
¿Tiene nódulos?	Sí <input checked="" type="radio"/> No <input type="radio"/>
Características de los nódulos	Seleccione--- ▾
¿Tiene calcificaciones?	Sí <input checked="" type="radio"/> No <input type="radio"/>
¿Tiene vascularidad?	Sí <input checked="" type="radio"/> No <input type="radio"/>

Localización de la lesión	
¿En qué cuadrante se localiza la lesión?	Seleccione--- ▾
Horario (hh:mm)*	<input type="text"/> : <input type="text"/>
Distancia del pezón (mm)*	<input type="text"/>
Profundidad	Seleccione--- ▾

Continuar

Cancelar

Figura 45 Formulario de Evaluación axilar y Localización de la lesión



SISTEMA EXPERTO PARA LA INTERPRETACIÓN MAMOGRÁFICA

Desarrollo del Sistema Experto



13. Por último se presenta un reporte con los halazgos mamográficos identificados:

Reporte final

Resultados de la evaluación	
Nombre:	Socorro
Edad:	44
Mama:	derecha
Composición mamaria:	grasa
Cirugías previas:	no
Estudios previos:	no
Resultado de estudios previos:	-
Motivo de evaluación:	deteccion
MASAS:	si
MASAS con CALCIFICACIONES:	no
CALCIFICACIONES:	no
TRASTORNOS ARQUITECTURALES:	no
DATOS ESPECIALES:	no
CLASIFICACIÓN:	3

Masas	
Tamaño:	22
Forma:	lobulada
Márgen:	indefinido
Densidad:	menor
Datos asociados:	no
Tipo de datos asociados:	-

Figura 46 Reporte final

5.4.2 Pruebas

Una vez que se construyó el primer prototipo del SE, se comprobó con el experto humano, que el SE daba resultados satisfactorios. También se realizaron pruebas con el usuario final con el propósito de validar el sistema, es decir si el sistema hace lo que debe o si resuelve el (los) problema que motivó su desarrollo. Las pruebas fueron hechas con casos reales.

Las clasificaciones asignadas estuvieron constantemente sometidas a la aprobación del experto humano.

El proceso de pruebas fue una etapa muy importante del proceso de desarrollo, se invirtió tiempo necesario ya que el producto resultante proporcionó la ayuda suficiente y es un producto de valor. Se detectaron errores de



SISTEMA EXPERTO PARA LA INTERPRETACIÓN MAMOGRAFICA

Desarrollo del Sistema Experto



manera oportuna y fue posible efectuar las correcciones necesarias, el proceso se repitió varias veces hasta que se eliminaron los errores detectados.

Normalmente el diagnóstico de un paciente dado consiste en analizar sus síntomas y detectar la enfermedad que posee mediante el análisis de diversas sintomatologías. Con el SE se hizo algo similar, se analizaron los hallazgos detectados en una mamografía para poder clasificarlos y emitir una recomendación sobre la atención a una paciente.

A continuación se muestran algunas pruebas, asociado las preguntas hechas al usuario con la activación de las reglas en la Base de conocimiento y mostrando los hechos en la Memoria de trabajo.

5.4.2.1 Prueba para composición mamaria “muy densa”

Se tiene la siguiente información dada por el usuario:

Nombre: Maricela Morán García
 Edad: 45 años
 Mama: derecha
 Motivo de evaluación: diagnóstico
 Cirugías previas: no
 Estudios previos: no
 Composición mamaria: muy densa

A continuación, en la tabla 14 se muestran los formularios que aparecen en la aplicación, la activación de reglas en la Base de conocimiento y los hechos que se encuentran en la Memoria de trabajo.

Formulario	Activación de reglas principales	Hechos en la Memoria de trabajo
<p>Composición mamaria de la paciente</p> <p>Identificación de la composición mamaria</p> <p>¿Cuál es la composición mamaria que presenta la paciente?</p> <p>Muy densa</p> <p>Continuar</p>	<pre>(defrule MAIN::inicio;Regla inicial ?i<-(initial-fact) ?p<-(paciente (nombre ?nom) (mama ?m) (edad ?e) (moteval ?mot) (estudio-previo ?ep) (tipo-ep ?tep) (cirugia-previa ?cp)) => (retract ?i) (assert (clasificacion nil)) (composicion "¿Cu&aacute;l es la composici&oacute;n mamaria que presenta la paciente?" cmpmam))</pre>	<p>f-1 (MAIN::paciente (nombre "maricela ") (mama "derecha") (edad "45") (moteval "diagnostico") (cirugia-previa "no") (estudio-previo "no") (tipo-ep "nil") (tmasa nil) (tcalc nil) (tmc nil) (ttrasarq nil) (tdatose nil) (evalaxilar si) (localiza si))</p> <p>f-2 (MAIN::clasificacion nil)</p>
<p>CLASIFICACION</p> <p>Clasificación BIRADS 0</p> <p>Conclusión MASTOGRAFIA INCOMPLETA</p> <p>Se deben realizar mas estudios.</p> <p>Recomendaciones Puede necesitar imágenes adicionales con diferentes proyecciones mamográficas, ultrasonido complementario o resonancia magnética</p> <p>Continuar</p>	<pre>(defrule MAIN::BIRADS0 (paciente (nombre ?nom) (tmasa ?tm) (tcalc ?tc) (ttrasarq ?tta)) (clasificacion 0) => (clasifico "BIRADS 0" "MASTOGRAFIA INCOMPLETA" "Se deben realizar m&aacute;s estudios.

Puede necesitar im&aacute;genes adicionales con diferentes proyecciones</pre>	<p>f-3 (MAIN::composicion (cmpmam "muy_densa"))</p> <p>f-4 (MAIN::clasificacion 0)</p>



SISTEMA EXPERTO PARA LA INTERPRETACIÓN MAMOGRÁFICA

Desarrollo del Sistema Experto



Formulario	Activación de reglas principales	Hechos en la Memoria de trabajo
	mamografías, ultrasonido complementario o resonancia magnética))	

Tabla 14 Prueba para composición mamaria "muy densa"

5.4.2.2 Prueba para la existencia de Trastornos arquitecturales

Se tiene la siguiente información dada por el usuario:

Nombre: Ana Méndez Loyola
 Edad: 34 años
 Mama: izquierda
 Motivo de evaluación: diagnóstico
 Cirugías previas: no
 Estudios previos: no
 Composición mamaria: grasa
 Masas: no
 Calcificaciones: no
 Trastornos arquitecturales: si

En la tabla 15 se muestran los formularios que aparecen en la aplicación, así como la activación de reglas en la Base de conocimiento y los hechos que se encuentran en la Memoria de trabajo.

Formulario	Activación de reglas principales	Hechos en la Memoria de trabajo
<p>Composición mamaria de la paciente</p> <p>Identificación de la composición mamaria</p> <p>¿Cuál es la composición mamaria que presenta la paciente?</p> <p>Grasa</p> <p>Continuar</p>	<pre>(defrule MAIN::inicio;Regla inicial ?i<-(initial-fact) ?p<-(paciente (nombre ?nom) (mama ?m) (edad ?e) (moteval ?mot) (estudio-previo ?ep) (tipo- ep ?tep) (cirugia-previa ?cp)) => (retract ?i) (assert (clasificacion nil)) (composicion "¿Cuál es la composición mamaria que presenta la paciente?" cmpmam))</pre>	<p>f-1 (MAIN::paciente (nombre "ana") (mama "izquierda") (edad "34") (moteval "diagnostico") (cirugia-previa "no") (estudio-previo "no") (tipo-ep "nil") (tmasa nil) (tcalc nil) (tmc nil) (ttrasarq nil) (tdatose nil) (evalaxilar si) (localiza si))</p> <p>f-2 (MAIN::clasificacion nil)</p>
<p>Masas</p> <p>Existencia de Masas</p> <p>Identifica en la mamografía la presencia de MASAS?</p> <p>Sí <input type="radio"/> No <input checked="" type="radio"/></p> <p>Continuar</p>	<pre>(defrule MAIN::TieneMasas (declare (salience 10000)) (clasificacion nil) (composicion (cmpmam ?cmp)) (test (or (eq ?cmp "grasa") (eq ?cmp "fibroglandular_dispersa") (eq ?cmp "heterogeneamente_densa"))) => (masas "Identifica en la mamografía la presencia de MASAS?" masas) (assert (pregmasas si)))</pre>	<p>f-3 (MAIN::composicion (cmpmam "grasa"))</p> <p>f-4 (MAIN::pregmasas si)</p>



SISTEMA EXPERTO PARA LA INTERPRETACIÓN MAMOGRÁFICA

Desarrollo del Sistema Experto



Formulario	Activación de reglas principales	Hechos en la Memoria de trabajo
<p style="text-align: center;">Calcificaciones</p> <p>Existencia de calcificaciones</p> <p>¿Identifica en la mamografía la presencia de CALCIFICACIONES?</p> <p style="text-align: center;">Sí <input type="radio"/> No <input checked="" type="radio"/></p> <p style="text-align: center;"><input type="button" value="Continuar"/></p>	<pre>(defrule MAIN::C3_MasasNO (declare (salienc 4100)) (composicion (cmpmam ?cmp)) ?pmn<-(pregmasas si) (clasificacion nil) ?p<-(paciente (nombre ?nom) (tmasa "no") (tmc "no")) (test (or (eq ?cmp "grasa") (eq ?cmp "fibroglandular_dispersa") (eq ?cmp "heterogeneamente_densa"))) => (calcificaciones "¿Identifica en la mamograf&iacut;a la presencia de CALCIFICACIONES?" excalc) (assert (pregcalcmasasno si)) (retract ?pmn))</pre>	<pre>f-1 (MAIN::paciente (nombre "ana") (mama "izquierda") (edad "34") (moteval "diagnostico") (cirugia-previa "no") (estudio-previo "no") (tipo-ep "nil") (tmasa nil) (tcalc nil) (tmc nil) (ttrasarq nil) (tdatose nil) (evalaxilar si) (localiza si)) f-5 (MAIN::tienemasas (tmasa "no")) f-6 (MAIN::masa (masa-pac "ana") (masa-tam nil) (masa- form nil) (masa-marg nil) (masa-dens nil) (masa-alo nil) (masa-tc nil) (masa-tda nil) (masa-tipoda nil) (masa-calc nil) (masa-calc-nivel nil) (masa-calc-dist nil)) f-7 (MAIN::pregcalcmasasno si)</pre>
<p style="text-align: center;">Trastornos arquitecturales y Datos especiales</p> <p>Trastornos arquitecturales</p> <p>¿Identifica la presencia de TRASTORNOS ARQUITECTURALES? Sí <input type="radio"/> No <input checked="" type="radio"/></p> <p>Tipo de trastornos arquitecturales: <input type="text" value="Retracción focal"/></p> <p>¿Tiene DATOS ASOCIADOS? Sí <input type="radio"/> No <input checked="" type="radio"/></p> <p>Tipo de datos asociados: <input type="text" value="Seleccione----"/></p> <p>Datos especiales</p> <p>¿Tiene DATOS ESPECIALES? Sí <input type="radio"/> No <input checked="" type="radio"/></p> <p>Tipo de datos especiales: <input type="text" value="Tejido mamario asimétrico"/></p> <p style="text-align: center;"><input type="button" value="Continuar"/></p>	<pre>(defrule MAIN::TA6_MasasNO_MasaCal cNO_CalcNO (declare (salienc 2950)) (clasificacion nil) ?mtc<-(modtiencalc si) (composicion (cmpmam ?cmp)) (paciente (nombre ?nom) (tmasa "no") (tmc "no") (tcalc "no")) (test (or (eq ?cmp "grasa") (eq ?cmp "fibroglandular_dispersa") (eq ?cmp "heterogeneamente_densa"))) => (tienetarqf "¿Identifica la presencia de TRASTORNOS ARQUITECTURALES?" trasarq) (assert (pregta si)) (retract ?mtc))</pre>	<pre>f-1 (MAIN::paciente (nombre "ana") (mama "izquierda") (edad "34") (moteval "diagnostico") (cirugia-previa "no") (estudio-previo "no") (tipo-ep "nil") (tmasa "no") (tcalc "no") (tmc "no") (ttrasarq nil) (tdatose nil) (evalaxilar si) (localiza si)) f-8 (MAIN::tiencalc (tcalc "no")) f-9 (MAIN::calcificaciones (calc-pac "ana") (calc nil) (calc- nivel nil) (calc-dist nil) (calc-da nil) (calc-tda nil)) f-11 (MAIN::pregta si)</pre>
<p>CLASIFICACION</p> <p>Clasificación: BIRADS 3</p> <p>Conclusión: HALLAZGOS PROBABLEMENTE BENIGNOS</p> <p>Recomendaciones: Lo recomendable es evaluación con otras imágenes y seguimiento a corto plazo. Puede ser necesario realizar más proyecciones (Vg. cono de compresión) o complementar con ultrasonido</p> <p style="text-align: center;"><input type="button" value="Continuar"/></p>	<pre>(defrule MAIN::R1TA_1_B3 ; Solo existen trastornos arquitecturales en cualquier mama (clasificacion nil) (paciente (nombre ?nom) (tmasa "no") (tmc "no") (tcalc "no") (ttrasarq "si")) => (assert (clasificacion 3)); clasificación definitiva) (defrule MAIN::BIRADS3 (paciente (nombre ?nom) (mama ?m) (tmasa ?tm) (tcalc ?tc) (ttrasarq ?tta) (tmc ?tmc) (edad ?e))</pre>	<pre>f-1 (MAIN::paciente (nombre "ana") (mama "izquierda") (edad "34") (moteval "diagnostico") (cirugia-previa "no") (estudio-previo "no") (tipo-ep "nil") (tmasa "no") (tcalc "no") (tmc "no") (ttrasarq "si") (tdatose "si") (evalaxilar si) (localiza si)) f-12 (MAIN::tienetarq (ttarq "si")) f-13 (MAIN::tiedatose (tdatose "si")) f-14 (MAIN::modificatipota (tipota "retraccion-focal") (tarqda "no") (tarqtipoda "nil")) f-15 (MAIN::modificatipode</pre>



SISTEMA EXPERTO PARA LA INTERPRETACIÓN MAMOGRÁFICA

Desarrollo del Sistema Experto



Formulario	Activación de reglas principales	Hechos en la Memoria de trabajo
	(masa (masa-pac ?nom) (masa-tam ?mt) (masa-form ?mf) (masa-marg ?mm) (masa- dens ?md) (masa-calc ?mc) (masa-calc-dist ?mcd) (masa- calc-nivel ?mcn)) (calcificaciones (calc-pac ?nom) (calc ?ca) (calc-nivel ?cn) (calc-dist ?cd)) (composicion (cmpmam ?cmp)) (trastornos (ta-pac ?nom) (ta- tipo ?tat)) (clasificacion 3) => (clasific "BIRADS 3" "HALLAZGOS PROBABLEMENTE BENIGNOS" "Lo recomendable es evaluación con otras imágenes y seguimiento a corto plazo. Puede ser necesario realizar más proyecciones (Vg. cono de compresión) o complementar con ultrasonido"))	(tipode "tejido-mamario") f-16 (MAIN::trastornos (ta-pac "ana") (ta-tipo nil) (ta-da nil) (ta-tipoda nil)) f-17 (MAIN::modta si) f-18 (MAIN::datosespeciales (de-pac "ana") (de-tipo "tejido- mamario")) f-19 (MAIN::modde si) f-20 (MAIN::modtde si) f-21 (MAIN::clasificacion 3)

Tabla 15 Prueba para la existencia de Trastornos arquitecturales

5.5 Fase E. Mejora

Esta fase del desarrollo contempla el refinamiento del SE, se van puliendo los defectos y se consideran nuevos casos no contemplados en el diseño inicial, es decir, se suministra mantenimiento al sistema.

Entendiendo como mantenimiento de un software, los cambios hechos al sistema después de haber entregado al usuario y haber recibido su aceptación, se pueden identificar cuatro modalidades de mantenimiento: [Eliizalde Gualito, 2004]

- **Correctivo.** Consiste en la realización de cambios necesarios por errores detectados, considerando las especificaciones iniciales.
- **Adaptativo.** Abarca cualquier esfuerzo iniciado como resultado de cambios en el entorno en el que opera la aplicación. El usuario no nota un cambio directo en la operación del sistema, pero el gestor de mantenimiento debe valerse de los recursos necesarios para aplicar el cambio.
- **Perfectivo.** Comprende todos los cambios, inserciones, eliminaciones, modificaciones, extensiones y mejoras hechas al sistema para satisfacer los requerimientos del usuario.
- **Preventivo.** Contempla el mantenimiento realizado con el objetivo de prevenir problemas

En este caso el mantenimiento suministrado deberá ser adaptativo o perfectivo, pues la aplicación Web realizada en esta tesis está considerada como una aplicación funcional y demostrativa, no contiene errores operativos y en un futuro puede ser ampliada y mejorada. O bien, puede ser implementada a nivel institucional. Por ésta razón, el SE se encuentra abierto a las mejoras en la interfaz de usuario o la adición de conocimiento en la Base de Conocimiento que el experto humano pueda solicitar. En una segunda versión de la aplicación, se podría considerar la integración de módulos como:

- Aprendizaje por analogía o aprendizaje a partir de ejemplos y contratiempos.
- El manejo de factores de certeza.
- La autenticación de usuarios.



SISTEMA EXPERTO PARA LA INTERPRETACIÓN MAMOGRÁFICA

Desarrollo del Sistema Experto



- La evaluación de factores de riesgo para Cáncer de Mama.
- La evaluación de la calidad de las mamografías.
- Tutorial para los radiólogos generales.

Como parte del mantenimiento preventivo, es recomendable mantener actualizados los avances o cambios que puedan surgir en el estándar internacional BIRADS, con la finalidad de que el sistema se encuentre actualizado.

5.6 Productos obtenidos por fase de desarrollo

A continuación se muestra una tabla, en la cual se especifican los productos obtenidos en el proceso de desarrollo:

Fases	Productos	Definición
FASE A Identificación del problema	1. Planteamiento del problema.	Características iniciales del SE: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Dominio del conocimiento: Medicina. ▪ Dominio del problema: Cáncer de Mama. De la selección final del candidato. (Consultar sección 5.1.4): <ul style="list-style-type: none"> ▪ Análisis de la situación actual. ▪ Determinación del alcance, objetivos generales y específicos. ▪ Establecimiento de contacto con diversos expertos. ▪ Identificación de los módulos del sistema.
	2. Elaboración de un documento de la definición del proyecto.	Acta de proyecto. (Anexo B)
FASE B Entendimiento del problema	3. Elección de experto humano.	Dr. Fernando Mainero Ratchelous, Jefe de Servicio de Oncología Mamaria del IMSS en el Hospital de Gineco-obstetricia No. 4. (Consultar sección 5.2.1)
	4. Seguimiento del proceso de Adquisición del conocimiento. Para mayor detalle consultar sección 5.2.	Realización de modificaciones en el Acta de proyecto. Adquisición del conocimiento: Manual, en las siguientes modalidades: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Entrevistas no estructuradas y semiestructuradas (minutas). ▪ Conocimiento documentado (extracción de fuentes e información proporcionada por el experto humano). ▪ Observación directa (pláticas). Versión 6 del Diagrama para la interpretación mamográfica, ubicado en el Anexo D.
FASE C Formalización del problema	5. Diseño del SE.	Caracterización del SE: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Tipo de SE: Interpretación. ▪ Representación del conocimiento: Declarativa. ▪ Modelo de Representación del conocimiento: Reglas de producción. ▪ Estrategia de razonamiento: Encadenamiento hacia adelante.



SISTEMA EXPERTO PARA LA INTERPRETACIÓN MAMOGRÁFICA

Desarrollo del Sistema Experto



Fases	Productos	Definición
	6. Generación de la Base de hechos.	Red semántica. (Consultar sección 5.3.1.3)
	7. Generación de la Base de conocimiento.	<p>Usando los shells:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ CLIPS en su versión para Windows WinCLIPS 6.3 ▪ JESS 7.1. <p>La Base de conocimiento está formada por 561 reglas de producción. (Ver Anexo I)</p> <p>Para mayor detalle sobre la planeación de la Base de conocimiento, consultar sección 5.3.2 y sección 5.4.1.1.</p>
FASE D Implementación y pruebas	8. Desarrollo de un prototipo.	<p>Integrando JESS y Java en una aplicación Web, con la tecnología de JSP's y usando como plataforma de desarrollo:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ NetBeans 6.1. ▪ Apache Tomcat 6.0.16.
	9. Prueba de un prototipo.	<p>Se realizaron las pruebas correspondientes con el experto humano, agregando reglas en la Base de conocimiento.</p> <p>Se realizaron las pruebas correspondientes con el radiólogo general.</p>
FASE E Mejora	10. Refinamiento y generalización.	<p>Se podría considerar la integración de módulos como:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Aprendizaje por analogía o aprendizaje a partir de ejemplos y contratiempos. ▪ El manejo de factores de certeza. ▪ La autenticación de usuarios. ▪ La evaluación de factores de riesgo para Cáncer de Mama. ▪ La evaluación de la calidad de las mamografías. ▪ Tutorial para los radiólogos generales.

Tabla 16 Especificación de productos del desarrollo del SE



SISTEMA EXPERTO PARA LA INTERPRETACIÓN MAMOGRÁFICA

Conclusiones



6 CONCLUSIONES

Se construyó un Sistema Experto (SE) que abarca la abstracción del conocimiento vigente de un experto humano y la aplicación del mismo en el área de Cáncer de Mama. El SE da solución al problema detectado en la interpretación mamográfica y se ofrece como apoyo en los procedimientos de prevención y detección del Cáncer de Mama. La utilización del sistema aporta beneficios como: la mejora de la productividad y rapidez con la cual un radiólogo general interpreta una mamografía, la estandarización de las variables que se deben considerar en el momento de interpretar una mamografía, la consulta constante de una herramienta basada en los conocimientos de un experto humano y el ahorro de tiempo y recursos pues evita que se subestimen o sobreestimen los hallazgos mamográficos.

El SE desarrollado puso a disposición el conocimiento y las buenas prácticas en la interpretación mamográfica siguiendo el estándar BIRADS. En ese ámbito el SE actúa como un ayudante para los expertos humanos y como consultor cuando no se tiene otro acceso a la experiencia, como en el caso de los radiólogos generales. Aporta consistencia en las soluciones dadas, gracias al tratamiento automático de los datos y en ocasiones se mostró que son más consistentes que las obtenidas por los expertos humanos.

Los valiosos conocimientos del experto humano fueron guardados y difundidos, de forma que no se perderán aunque desaparezca el especialista, lo cual ayudará a entender cómo se aplican los conocimientos para resolver el problema planteado.

El correcto seguimiento que se dio al proceso de la Adquisición del conocimiento fue fundamental en el desarrollo del SE pues exigió habilidades comunicativas y organizativas, tanto del experto humano como del Ingeniero de conocimiento, pues la labor de extraer el conocimiento es una tarea compleja. Para facilitar dicha tarea, fue importante la identificación del sistema de representación mental que predomina en el experto humano. En este caso el Dr. Fernando Mainero utiliza mayormente el sistema de representación visual, por esta razón fue necesario generar herramientas que fueran de interés para él, que facilitaran el proceso de la Adquisición del conocimiento y permitieran que organizara y reforzara su conocimiento, sirviendo éste como instrumento básico para la constitución de la Base de conocimiento. El experto humano seleccionado cubrió el requerimiento de la disponibilidad de tiempo acordada, tuvo dominio del conocimiento dado por la experiencia y la capacidad de proporcionar conocimiento coherente, lo cual aportó la calidad necesaria al conocimiento incluido en la Base de conocimiento.

El Acta de proyecto fue la mejor carta de presentación en los primeros acercamientos con el (los) experto (s) humano (s), pues creó un ambiente de confianza con los expertos humanos, a los cuales hay que convencer de colaborar con el proyecto propuesto.

El SE desarrollado ofrece un banco ordenado de datos, que permitirá aprender de los mismos y generar análisis estadísticos y predictivos con información proveniente de casos específicos en nuestra población.

El entorno de desarrollo JESS -Java Expert System Shell- permitió aprovechar todas las ventajas de desarrollo de Java Enterprise Edition (J2EE) para la creación de este proyecto, logrando la integración de herramientas de programación especializadas para ofrecer al usuario final una interfaz que optimice su interacción con el sistema, por lo que JESS fue una buena elección de la herramienta de desarrollo que permitió: la adición rápida y sencilla del conocimiento, una mejor modularidad y legibilidad del conocimiento, ejemplificando algunas de las ventajas de los SE.

El desarrollo de SE orientados al ambiente Web, constituye una solución viable a diversos problemas, de manera oportuna y centralizada durante las 24 horas del día con la calidad técnica de un experto de alto nivel.



SISTEMA EXPERTO PARA LA INTERPRETACIÓN MAMOGRÁFICA

Conclusiones



El SE construido puede ser el punto de partida para el desarrollo de otros proyectos, por ejemplo, un SE tutorial en el cual, los radiólogos generales puedan aprender mediante técnicas de evaluación o se puede considerar la integración de módulos como:

- Aprendizaje por analogía o aprendizaje a partir de ejemplos y contratiempos.
- El manejo de factores de certeza.
- La autenticación de usuarios.
- La evaluación de factores de riesgo para Cáncer de Mama.
- La evaluación de la calidad de las mamografías.

Así mismo la investigación concentrada proveniente de diversas fuentes y la documentación generada en el desarrollo constituye una buena fuente de consulta y orientación para las personas interesadas en el área de los SE, cabe mencionar que se generó material documental sobre la interpretación mamográfica y el Cáncer de Mama cuya finalidad es la correcta utilización del sistema por parte del usuario.

Sin duda alguna, uno de los problemas de los proyectos interdisciplinarios es la comunicación con los expertos, esto se debe a la diferencia de lenguajes técnicos. A lo largo del proceso de Adquisición del conocimiento se logró establecer una comunicación productiva con el experto humano, que permitiera el cumplimiento de los objetivos planteados en éste proyecto.



SISTEMA EXPERTO PARA LA INTERPRETACIÓN MAMOGRÁFICA

Glosario



7 GLOSARIO

Aprendizaje

Proceso mediante el cual se obtiene el conocimiento

Base de datos

Se define como información ordenada o estructurada, la cual es recuperable con facilidad.

Fase

Nombre que se le asigna a un conjunto de actividades que tienen un objetivo común.

Fiabilidad

Se define como la probabilidad (habilidad) de un elemento de realizar una función requerida en determinadas condiciones y durante un cierto periodo de tiempo. Podemos decir que es la "calidad en el tiempo".

Heurística

Todo procedimiento teórico, metodológico o técnico que facilite la búsqueda y el consecuente hallazgo de nuevo conocimiento.

Incertidumbre

Medida de la aleatoriedad de algún suceso.

Metodología

Conjunto de métodos que tiene la finalidad de brindar una guía para consolidar un proyecto. Manera sistemática para hacer cierta cosa.

Proceso

Conjunto de actividades mutuamente relacionadas que interactúan entre sí, llevadas a cabo a través de roles, que utilizando recursos y que a partir de insumos producen un satisfactor para el usuario final.

Procedimiento

Conjunto de instrucciones que resuelve un problema concreto que puede ser llamado muchas veces por un programa principal.

Describe un conjunto de actividades necesarias para generar un resultado, es específico y su enfoque es operativo.

Producto

Cualquier elemento que se genera en un proceso.

Prototipo

Modelo simplificado de SE que tiene por objetivo comprobar la viabilidad de un sistema mucho más complejo.

Proyecto

Es un esfuerzo de trabajo temporal, compuesto de actividades relacionadas entre sí, con un inicio y terminación definidos; para crear un producto o un servicio único. Un proyecto no es un evento aislado, su relación tiene repercusiones en su entorno, ya sea una empresa, una entidad o un país.

Razonamiento

Proceso en el que se combinan varias unidades de conocimiento para sacar conclusiones o nuevas unidades del mismo.

Rol

Son responsables por llevar a cabo las actividades del proceso.

Símbolos

Número o cadena de caracteres que representan un objeto o una idea.

Simulación

Proceso mediante el cual trata de imitar el comportamiento de un sistema.

Validación

Actividad para confirmar que el producto resultante es capaz de satisfacer los requerimientos para su aplicación específica o uso previsto. "Que el producto construido sea el correcto". Es la aprobación de las autoridades, para corroborar que están de acuerdo con la información plasmada.

Verificación

Actividad para confirmar que el producto refleja propiamente los requerimientos especificados para el. "Que el producto se haya construido correctamente". Es realizada por las mismas personas que documentaron, se enfoca sobre aspectos de contenido, consistencia, redacción, formato, entre otros.



SISTEMA EXPERTO PARA LA INTERPRETACIÓN MAMOGRÁFICA

Bibliografía



8 BIBLIOGRAFÍA

- ABC, Centro médico. 2008.** Programa de detección temprana del cáncer de mama ABC (DPC Mama). *American Chamber México*. [En línea] 11 de julio de 2008. [Citado el: 18 de septiembre de 2008.] <http://www.amcham.com.mx/eventos/Documents/PI%C3%A1tica%20DPC%20secretarias%20Julio%2011%202008%20CORREGIDO.ppt>.
- Armstrong, Katrina, y otros. 2007.** Screening Mammography in Women 40 to 49 Years of Age: A Systematic Review for the American College of Physicians. *Annals of Internal Medicine*. [En línea] 3 de Abril de 2007. [Citado el: 16 de Noviembre de 2008.] CLINICAL GUIDELINES. <http://www.annals.org/cgi/content/full/146/7/516>. Volumen 146 No. 7.
- Cáncer, Instituto Nacional de. 2008.** Lo que usted necesita saber del Cáncer de Seno. *Instituto Nacional de Cáncer*. [En línea] marzo de 2008. [Citado el: septiembre de 21 de 2008.] <http://www.cancer.gov/espanol/tipos/necesita-saber/seno.pdf>.
- Carlos Soto, Marlene. 2005.** Sistema Experto de Diagnóstico médico del síndrome de Guillian Barre. *Portal del Sistema de Bibliotecas de la UNMSM*. [En línea] 20 de septiembre de 2005. [Citado el: 8 de noviembre de 2008.] http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/Tesis/Basic/carlos_sm/carlos_sm.PDF.
- Castillo, Enrique y Álvarez, Elena. 1989.** *Sistemas Expertos. Aprendizaje e incertidumbre*. Madrid : Paraninfo, 1989.
- Castillo, Enrique, Gutiérrez, José Manuel y Hadi, Ali S. 1998.** *Sistemas Expertos y modelos de redes probabilísticas*. España : Academia Española de Ingeniería, 1998.
- Elizalde Gualito, Eva Gabriela. 2004.** *Sistema Experto para muestreo de aceptacion en programas de control de calidad*. [ed.] UNAM. México : Tesis Facultad de Ingeniería UNAM, 2004.
- Flores Sosa, Zeina y Gómez García, Miriam. 2004.** *Sistema Experto para el prediagnóstico de pacientes con problemas de comunicación humana*. [ed.] UNAM. México : Tesis Facultad de Ingeniería UNAM, 2004.
- Frenzel, Louis E. 1989.** *A fondo: Sistemas Expertos*. Madrid, España : Anaya, Multimedia, 1989.
- Friedman Hill, Ernest. 2003.** *JESS in Action Rule-Based Systems in Java*. Greenwich : Manning Publications, 2003.
- Giarratano, Joseph C. 2002.** CLIPSrules. *CLIPS A Tool for Building Expert Systems*. [En línea] 6.20, 31 de Marzo de 2002. [Citado el: 22 de Enero de 2009.] <http://clipsrules.sourceforge.net/documentation/v624/ug.pdf>.
- Giarratano, Joseph y Riley, Gary. 2001.** *Sistemas Expertos. Principios y programación*. México : Thompson Editores, 2001.
- González Pérez, Pedro Pablo. 1995.** *Sistemas Expertos facultativamente asociados en red cooperativa con arquitecturas de pizarrón: una aplicación en la consulta e interconsulta medica*. México : Tesis Maestría (Maestría en Investigación Biomédica Básica) UNAM, Colegio de Ciencias y Humanidades, Unidad Académica de los Ciclos Profesional y de Posgrado, 1995.
- Humphrey, Linda L., y otros. 2002.** Breast Cancer Screening: A Summary of the Evidence for the U.S. Preventive Services Task Force. *Annals of Internal Medicine*. [En línea] 3 de Septiembre de 2002. [Citado el: 16 de Noviembre de 2008.] CLINICAL GUIDELINES. http://www.annals.org/cgi/content/abstract/137/5_Part_1/347. Volumen 137 No. 5 Parte 1.
- INEGI. 2009.** Estadísticas a propósito del día Mundial Contra el Cáncer. *Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI)*. [En línea] 4 de febrero de 2009. [Citado el: 10 de febrero de 2009.] <http://www.inegi.org.mx/inegi/default.aspx?c=2173&pred=1&s=inegi>.
- Marcellin Jacques, Dr. Sergio. 1997.** *Inteligencia Artificial, aprendizaje y Sistemas Expertos*. México : Publicaciones UNAM, 1997.



SISTEMA EXPERTO PARA LA INTERPRETACIÓN MAMOGRAFICA Bibliografía



- Menken, Maarten. 2004.** VU University Amsterdam. *JESS Tutorial*. [En línea] 24 de diciembre de 2004. [Citado el: 17 de marzo de 2009.] <http://www.cs.vu.nl/~ksprac/export/jess-tutorial.pdf>.
- Notimex. 2008.** Aumenta cáncer de mama en México. Periódico. *El Universal*. [En línea] 26 de junio de 2008. [Citado el: 17 de octubre de 2008.] <http://www.eluniversal.com.mx/articulos/47692.html>.
- Obregón Sánchez, Arturo y Marcellin Jacques, Sergio. 1992.** *Inteligencia artificial y sistemas expertos*. México : s.n., 1992.
- Pajares Martinsanz, Gonzalo y Santos Peñas, Matilde. 2006.** *Inteligencia Artificial e Ingeniería del conocimiento*. 2 a. México : Alfaomega Ra-Ma, 2006.
- Riley, Gary. 2006.** Manual de referencia. Volumen II. Guía de Programación avanzada. Versión 6.24. *CLIPSRULES*. [En línea] 15 de junio de 2006. [Citado el: 12 de enero de 2009.] <http://clipsrules.sourceforge.net/documentation/v624/apg.pdf>.
- Rolston, David W. 1991.** *Principios de Inteligencia Artificial y Sistemas Expertos*. Bogotá : McGraw-Hill, 1991.
- Russell, Stuart J. y Norvig, Peter. 2003.** *Artificial intelligence: a modern approach*. 2a. New Jersey : Pearson Education, Prentice Hall, 2003.
- Sánchez Beltrán, Juan Pablo. 1990.** *Una metodología de programación*. Madrid : Ra-Ma, 1990.
- Schutzer, Daniel. 1987.** *Artificial Intelligence an applications oriented approach*. New York : Van Nostrand Reinhold, 1987.
- Smith, Craig y Friedman-Hill, Ernest. 2008.** JESS, Rule Engine for the Java™ Plataform. *Sandia National Laboratories*. [En línea] 11 de noviembre de 2008. [Citado el: 15 de marzo de 2009.] <http://www.jessrules.com/>.
- Turban, Efraim. 1992.** *Expert Systems and Applied Artificial Intelligence*. New York : Macmillan Publishing Company, 1992.
- Viniegra Osorio, Arturo. 2008.** Guía de Práctica Clínica para la Prevención y Detección de Cáncer de Mama en el primer nivel de atención. México, D. F. : s.n., Mayo de 2008.



SISTEMA EXPERTO PARA LA INTERPRETACIÓN MAMOGRÁFICA

Anexos



ANEXOS



SISTEMA EXPERTO PARA LA INTERPRETACIÓN MAMOGRAFICA

Anexos



Anexo A. Reporte de horas por actividad realizada

A continuación se muestra una tabla con el cálculo de la inversión en horas en el desarrollo del SE:

Actividades	Horas
Investigación previa a reuniones con experto humano	20
Reuniones con experto humano (horas efectivas de trabajo)	40
Preparación de material documental para reuniones con el experto humano	40
Reuniones planeadas-canceladas y Adquisición del conocimiento por observación directa	5
Investigación sobre BIRADS y Cáncer de Mama durante fase de Adquisición del conocimiento (conocimiento documentado)	30
Documentación de la Adquisición del conocimiento (20 minutos de las reuniones de trabajo)	20
Horas totales Adquisición del conocimiento	155
Investigación y pruebas con diversas herramientas de desarrollo para SE	20
Conocimiento de CLIPS y programación de inicios de la Base de conocimiento	40
Programación de reglas de producción en la Base de conocimiento	30
Horas totales Representación del conocimiento	90
Generación de interfaz de usuario	40
Creación y diseño de la Base de datos	15
Integración (Java & Jess)	70
Pruebas	25
Horas totales Desarrollo	150
Acta de proyecto	15
Generación de documentación para aplicación Web	20
Diccionario BIRADS	20
Horas totales Documentación	55
Total horas de trabajo efectivo	450

Tabla 17 Conteo de horas en el proceso de desarrollo del SE



SISTEMA EXPERTO PARA LA INTERPRETACIÓN MAMOGRÁFICA

Anexos



Anexo B. Acta de proyecto

1. Nombre oficial del proyecto

SISTEMA EXPERTO PARA LA INTERPRETACIÓN Y CLASIFICACIÓN MAMOGRÁFICA

2. Nombre corto del proyecto

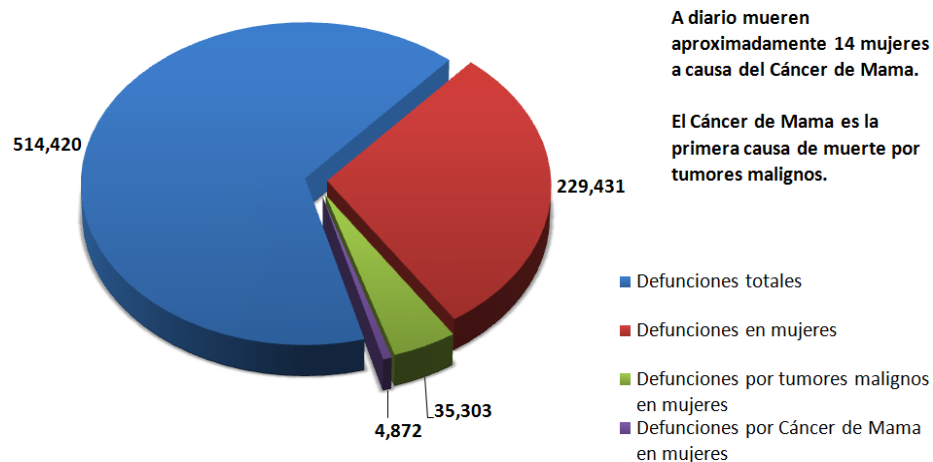
Sistema Experto para la interpretación mamográfica.

3. Justificación

En los últimos años se han hecho campañas de concientización sobre el riesgo de contraer Cáncer de Mama, así como de detección temprana de éste, y pese a los esfuerzos para desarrollar una mentalidad anticáncer y de alerta continua, en México según cifras proporcionadas por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) para el 2007, mueren a diario alrededor de 14 mujeres a causa de este devastador padecimiento, convirtiéndose así en la primera causa¹⁸ de muerte por tumores malignos en mujeres en edad reproductiva, es decir, representa el 13.5% del total de las defunciones en mujeres. (Ver Fig. 1).

Las instituciones de salud están siendo rebasadas ante la creciente demanda de pacientes que padecen Cáncer de Mama, por lo que el diagnóstico certero y oportuno para las mujeres mexicanas aún sigue siendo un problema a resolver.

Desde hace algún tiempo, se ha tenido en mente la necesidad de establecer un diagnóstico temprano del Cáncer de Mama, y cabe preguntarse ¿por qué la mayoría de los casos de pacientes con este mal se encuentra en etapas muy avanzadas para cuando la probabilidad de curación es muy baja?, la respuesta es esta pregunta no es tan sencilla, debido a que en el diagnóstico del cáncer intervienen muchos factores complejos y poco conocidos.



A diario mueren aproximadamente 14 mujeres a causa del Cáncer de Mama.

El Cáncer de Mama es la primera causa de muerte por tumores malignos.

Fig. 1. Defunciones en mujeres a causa del Cáncer de Mama en el 2007 INEGI¹⁹

El diagnóstico temprano del Cáncer de Mama, ha cobrado mucha importancia, ya que las muertes en mujeres se han incrementado en los últimos 30 años, al pasar del decimoquinto lugar en el año 2000 al segundo en el 2006, ha superado en tan sólo dos años al Cáncer Cérvico-Uterino, por lo que en el año en curso, el Cáncer de Mama representa ya la primera causa de muerte entre mujeres mexicanas de 25 años y más, en 15 entidades federativas y se prevé que continuará en aumento en los próximos años.²⁰(Ver Fig. 2)

¹⁸ "Estadísticas a propósito del día Mundial Contra el Cáncer". Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI). México, 2009. Publicado el 4 de febrero de 2009. Datos Nacionales, Defunciones. Requiere de Microsoft Word. Disponible en: <<http://www.inegi.org.mx/inegi/default.aspx?c=2173&pred=1&s=inegi>>.

¹⁹ Imagen obtenida a partir de datos publicados por el INEGI. "Estadísticas a propósito del día mundial contra el cáncer. Datos Nacionales". Requiere Microsoft Word. Datos disponibles en: <<http://www.inegi.org.mx/inegi/default.aspx?c=2173&pred=1&s=inegi>>.
²⁰ "Aumenta cáncer de mama en México". Periódico El Universal. Artículo publicado el: 26 de junio de 2008. Disponible en: <<http://www.eluniversal.com.mx/articulos/47692.html>>.



SISTEMA EXPERTO PARA LA INTERPRETACIÓN MAMOGRÁFICA

Anexos

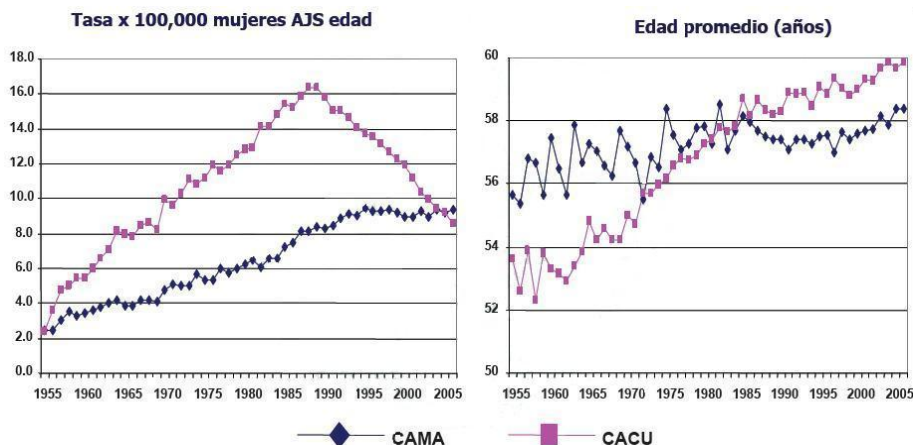


Fig. 2. Mortalidad por tumores malignos de Mama y de Cuello de Útero en México 1955-2005²¹

Actualmente, la tasa de mortalidad por Cáncer de Mama indica un aumento constante: de 6.4 por 100,000 mujeres de 15 años y más para el año 1979, 13.16 por 100,000 mujeres de 25 años y más para el año 1990 y hasta 17.7 por 100,000 en el año 2002. (Gómez-Dantés et. al 2003) El número de defunciones se incrementa a partir de los 40 años con mayor riesgo de morir aumenta conforme a la edad. El 22% de las muertes se presenta en mujeres de 40 a 49 años, 44% en las de 50 a 69 y 24% en las de 70 años y más, con una edad promedio al morir de 58.3 años de edad.²²

El Cáncer de Mama es el tumor maligno más frecuente en el mundo por lo que se considera un problema de salud pública internacional. Durante los últimos años se ha observado un incremento en su frecuencia, sobre todo en países en vías de desarrollo como México. En donde actualmente ocupa el primer lugar como causa de mortalidad en las mujeres.²³

Según datos de la OMS, el cáncer se convertirá en la principal causa de mortalidad en 2010, como se indica en un informe de la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC) de la Organización Mundial de la Salud (OMS). En apenas dos años esta enfermedad, cada vez más extendida en los países desarrollados, dejará atrás a

las enfermedades cardíacas que actualmente figuran como primera causa de mortalidad mundial. Alrededor del mundo se llevan a cabo sucesivas campañas para concienciar a las mujeres en edad de riesgo de la importancia de obtener un diagnóstico precoz.

Las diferencias en el primer nivel de atención médica de este problema y sus consecuencias e impacto en la salud, reflejados en las estadísticas de años de vida perdidos por muerte prematura y pérdida de la calidad de vida por discapacidad, justifica llevar a cabo acciones sistematizadas para el diagnóstico y la referencia oportuna,²⁴ como el desarrollo de un sistema coadyuvante en la detección oportuna y la disminución de la mortalidad del Cáncer de Mama aplicando los conocimientos que aporta la Ingeniería de Sistemas Basados en Conocimiento, para contribuir en la solución de un problema real realizando un Sistema Experto (SE) que cuente con la colaboración de especialistas humanos y el sustento teórico adquirido a través de libros e investigaciones recientes, tales como el estudio de nombre “Errores frecuentes en la indicación, interpretación y manejo del resultado mastográfico” realizado en marzo de 2007 por el Dr. Fernando Mainero Ratchelous, quien actualmente se desempeña como jefe de Servicio de Oncología Mamaria del IMSS, el cual consistió en la revisión individual de 1314 mamografías realizadas en 64 centros de la Ciudad de México y el Estado de México, interpretadas por 81 radiólogos distintos, en dicho estudio se detectaron errores en la interpretación y el reporte del estudio, dichos errores tienen consecuencias directas en el diagnóstico y en la solicitud de estudios innecesarios a la paciente, adicionalmente se descubrió que el radiólogo experto en mama es aún un especialista infrecuente.

De los resultados obtenidos en el estudio mencionado anteriormente, se ha detectado la necesidad de contar con un sistema que instruya al usuario sobre aspectos que son necesarios considerar para la correcta interpretación de una mamografía, siendo ésta a la fecha, el más popular de los estudios entre la población y los servicios médicos. Es importante mencionar que las mamografías forman parte de los programas de detección oportuna y prevención primaria que son fundamentales debido ya que dentro de estos se efectúan estudios para detectar efectivamente el cáncer como la mamografía, dicho estudio cobra importancia cuando es interpretada ya que es determinante para que las pacientes reciban el siguiente nivel de atención.

4. Descripción del proyecto

El proyecto consiste en la elaboración de un Sistema Experto que proporcione una herramienta tecnológica de instrucción sobre la interpretación y clasificación de mamografías, para lo cual se desarrollarán las actividades especificadas en el alcance

²¹ “Primera Reunión Ordinaria del Consejo Promotor Competitividad y Salud”. Diapositiva 29. Publicado el: 26 de abril de 2008. Requiere de Acrobat Reader. Disponible en: <<http://www.funsalud.org.mx/competitividad/Primera%20reunion%202008%20CPCS%2014%20de%20abril%20web.pdf>>.

²² “Guía de Práctica Clínica para la Prevención y Detección de Cáncer de Mama en el primer nivel de atención”. Arturo Viniestra Osorio. Mayo 2008. IMSS. Requiere Microsoft Word. Pág. 3 Sección 2 Introducción.

²³ “Guía de Práctica Clínica para la Prevención y Detección de Cáncer de Mama en el primer nivel de atención”. Arturo Viniestra Osorio. Mayo 2008. IMSS. Requiere Microsoft Word. Pág. 3 Sección 2 Introducción.

²⁴ “Guía de Práctica Clínica para la Prevención y Detección de Cáncer de Mama en el primer nivel de atención”. Arturo Viniestra Osorio. Mayo 2008. IMSS. Requiere Microsoft Word. Pág. 4 Sección 2 Introducción.



SISTEMA EXPERTO PARA LA INTERPRETACIÓN MAMOGRÁFICA

Anexos



y en la sección de productos a generar, así como la ejecución del proceso y generación de reportes finales.

5. Objetivo general del Proyecto

Disñar e implementar una herramienta tecnológica que represente la experiencia y el conocimiento de un experto humano en el área del Cáncer de Mama proporcionando al mismo tiempo un instrumento de apoyo en la prevención y detección oportuna de dicho cáncer, por medio de la aplicación práctica de un SE para la interpretación mamográfica.

6. Alcance

El proyecto contempla:

- El desarrollo de un Sistema Experto para la Interpretación Mamográfica, que sea una herramienta capaz de guiar la explicación y clasificación de una mamografía con datos proporcionados por un radiólogo (o usuario final) y apegándose al estándar internacional Breast Imaging Reporting and Data System (BIRADS) emitirá conclusiones y recomendaciones sobre estudios y acciones posteriores.
- Validación de la información a cargo del experto humano.

Precondiciones:

- Acceso a información referente al tema solicitada por parte del Ingeniero de conocimiento.
- Colaboración de un experto humano en el área de Cáncer de Mama.
- Disponibilidad del experto humano de 1 hora cada 2 semanas durante el desarrollo del sistema.

Exclusiones:

- El sistema no realizará carga o análisis de imágenes.

7. Productos a generar

- Acta de proyecto.
- Desarrollo de Sistema Experto.
- Realización de la documentación correspondiente al sistema para la correcta utilización por parte de los usuarios interesados.

8. Necesidades detectadas

Las instituciones de salud están siendo rebasadas ante la creciente demanda de pacientes que padecen Cáncer de Mama, por lo que el diagnóstico certero y oportuno para las mujeres mexicanas aún sigue siendo un problema a resolver.

9. Consideraciones

- Los productos generados por el proyecto se donarán a la Institución y formarán parte de la tesis para obtener el grado de Ingeniera en Computación de la c. Areli Vázquez Padilla Díaz egresada de la Facultad de Ingeniería de la UNAM.
- El proyecto contribuirá a la solución de un problema de salud en la población, con la colaboración de especialistas humanos y el sustento teórico adquirido a través de investigaciones recientes se identificarán las variables involucradas en la interpretación mamográfica y se asignará una clasificación resultante de las combinaciones entre dichas variables, los resultados que se obtengan serán integrados a la base de conocimiento del Sistema Experto, el producto final estará dirigido, principalmente, a los **radiólogos generales**.
- Para la construcción del Sistema Experto utilizará un equipo de cómputo que cubre los siguientes requerimientos:

Hardware	Software
Computadora AMD Athlon 64 X2 Dual-Core a 1.8 GHz	Sistema operativo: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Windows Vista Business. Navegador: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Mozilla Firefox 3.5.5.
2 GB en RAM	Plataforma de desarrollo: <ul style="list-style-type: none"> ▪ NetBeans 6.1. ▪ Apache Tomcat 6.0.16.
2 GB de espacio libre en Disco Duro	Producción del Sistema Experto: <ul style="list-style-type: none"> ▪ CLIPSWin 6.3. ▪ JESS 7.1.
Tarjeta de red 10/100/1000 Mbps	



SISTEMA EXPERTO PARA LA INTERPRETACIÓN MAMOGRAFICA Anexos



- Los usuarios del sistema deberán cubrir con los siguientes requerimientos mínimos para su operación y adecuado funcionamiento:

Hardware	Software
Computadora Pentium D a 1.8 GHz	Sistema operativo: <ul style="list-style-type: none">Windows XP Profesional o Windows Vista Business
2 GB en RAM	Ejemplos de los Navegadores principales: <ul style="list-style-type: none">Internet ExplorerMozilla Firefox 3.0.5
1 GB de espacio libre en Disco Duro	
Tarjeta de red 10/100/1000 Mbps	

- En la constitución del proyecto Sistema Experto para Interpretación Mamográfica, es importante que **el experto humano** contemple, dentro su calendario de actividades, 1 horas cada 2 semanas en la cual será necesario realizar entrevistas y la validar modelos de conocimiento en el área del Cáncer de Mama.

Involucrados

Por parte de la UNAM:	Por parte del IMSS son:
Pas. De Ing. Areli Vázquez Padilla Díaz M.C. María del Carmen Edna Márquez Márquez	Dr. Fernando Mainero Ratchelous



SISTEMA EXPERTO PARA LA INTERPRETACIÓN MAMOGRÁFICA

Anexos



Anexo C. Ejemplo de minuta de una reunión de trabajo

- Revisión de combinaciones para Masas y Calcificaciones, definir cuáles son válidas y cuáles no (presentar manipulación en ACCESS de las combinaciones).

PROYECTO	Sistema experto para la interpretación mamográfica		
-----------------	--	--	--

LUGAR	Hospital de Gineco-obstetricia No. 4 Luis Castelazo Ayala del IMSS	FECHA	31/03/2009
HORA DE INICIO	13:00	HORA DE TÉRMINO	14:45

OBJETIVO / ORDEN DEL DÍA	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Explicación al Dr. sobre la forma en la que se podría manejar la probabilidad. ▪ Revisión de las combinaciones resultantes en el rubro de Masas, Masas con calcificaciones asociadas y Calcificaciones. ▪ Revisión de las reglas de producción.
---------------------------------	---

ASISTENTES	
Fernando Mainero Ratchelous	Jefe de Departamento Clínico Onco - Mama
Areli Vázquez Padilla Díaz	Pasante de Ingeniería en Computación

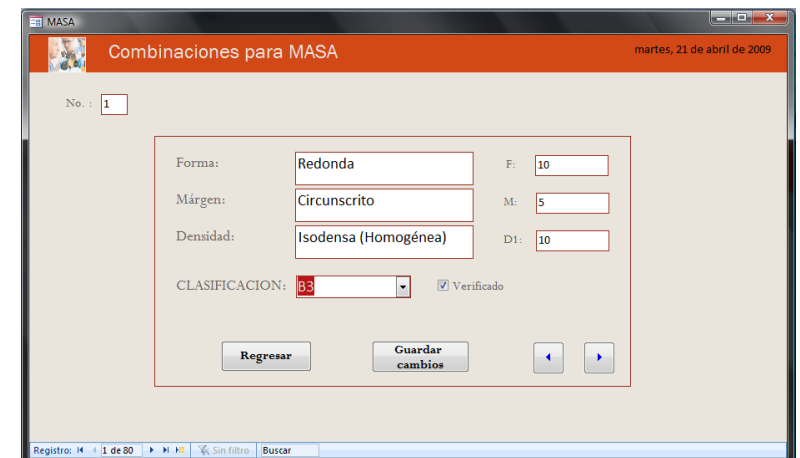
COMPROMISO / PENDIENTE	RESPONSABLE

Actividades planeadas:

- Asignar probabilidades a los Datos Asociados.
R. Quedó pendiente
- Validar reglas de inducción planteadas, respuesta a preguntas planteadas (continuación).



Formulario de inicio



Verificación de combinaciones para Masa



SISTEMA EXPERTO PARA LA INTERPRETACIÓN MAMOGRÁFICA

Anexos



Verificación de las combinaciones para Calcificaciones.

4. Definir cómo se manejará la evaluación axilar, ¿igual por probabilidades?
R. Se mencionó la posibilidad de que la evaluación axilar solo se efectúe para ciertos BIRADS.
5. Cuando existen Datos Especiales, ¿se pueden asociar a un BIRADS?
R. Quedó pendiente
6. Cuando existen Datos Asociados, ¿se pueden asociar a un BIRADS?
R. Quedó pendiente

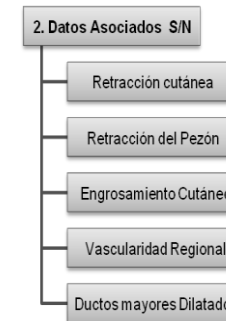
Validaciones hechas:

DIAGRAMA RESULTANTE (Ver 0.6. Parte 1)

El Dr. solicitó que se agregara en el diagrama la densidad HETEROGÉNEA en el rubro de masas.

(Ver Anexo C Diagrama de interpretación)

DIAGRAMA RESULTANTE (Ver 0.6. Parte 2)



Actividades realizadas:

- A las diferentes combinaciones se les asignó una clasificación estimada contemplando la máxima probabilidad de los hallazgos que la componen, estableciendo un rango de probabilidades para clasificar. (Ver SECM_Combinaciones.xls)
- Se realizó una pequeña aplicación en Access 2007 en la cual se colocaron las diferentes combinaciones para Masas y Calcificaciones, con la finalidad de tomarlas como punto de partida en la realización de reglas de producción para alimentar la base de conocimiento, además se logró captar de mejor forma la atención del experto humano y se avanzó más rápido, en la definición de las clasificaciones para los diferentes hallazgos.
- Se asignó una clasificación a las combinaciones de Masas y Calcificaciones y se cambió el estatus de no verificado a verificado, se hicieron anotaciones en la parte de observaciones.
- Se decidió agregar la densidad HETEROGÉNEA en el rubro de masas por lo que el próximo trabajo será realizar las combinaciones de forma y margen con densidad HETEROGÉNEA.
- El experto humano ha considerado necesario tomar en cuenta las Masas con calcificaciones asociadas ya que estas representa aproximadamente el 50% de los casos, entonces se queda pendiente para la próxima reunión realizar las combinaciones de Masas con calcificaciones asociadas de los tres tipos: BENIGNAS, SOSPECHA INTERMEDIA y DE ALTA MALIGNIDAD.



SISTEMA EXPERTO PARA LA INTERPRETACIÓN MAMOGRÁFICA Anexos



- El Dr. Mainero afirmó que una masa Redonda, Ovoide o Lobulada, no puede tener un margen Espiculado, dijo que esta combinación era incoherente.
- Se dijo que cuando la masa tiene un margen obscurecido, en necesario realizar otro tipo de estudios es decir que se clasificaría como un BIRADS 0.
- En algunas combinaciones el Dr. mencionó que debía buscar en la bibliografía para confirmar la clasificación del hallazgo.
- También se mencionó que las combinaciones que tenían una densidad grasa raras veces se trataba de un cáncer, solamente en raros casos como el del Carcinoma Oleoso, si poseen densidad grasa aunque tuvieran un margen espiculado, la probabilidad de que fuera cáncer disminuía por la presencia de ese tipo de densidad.

Comunicación:

- El archivo trabajado el 31 de marzo de 2009 se lo mandé al Dr. el 01 de abril del 2009 con el asunto: Material trabajado el martes 31 de marzo 2009. (SECM_Comb...xls (82.1 KB), Combinaci...zip (2.1 MB))
Saludos Dr.

Le envió 2 archivos:

- 1) SECM_Combinaciones.xls. Es un documento en Excel con las combinaciones para Masas y Calcificaciones, SON LAS MISMAS COMBINACIONES QUE TRABAJAMOS EN LAS PANTALLAS, sólo las exporté a Excel, también se encuentra el desglose de como se realizaron las combinaciones simples de Masa y Calcificaciones.
- 2) Combinaciones.mdb. Es un documento en Access el cual contiene las pantallas con colores (lo puse en un ZIP,

comprimido, porque hotmail u otros servidores de correo a veces bloquean este tipo de archivos y no dejan descargarlos)

Gracias por su tiempo, nos vemos el viernes a la 1 pm

- Las modificaciones realizadas a solicitud del Dr. se mandaron vía mail el 05 de abril de 2009 con el asunto: Última versión del archivo en Access de las combinaciones de Masa con calcificaciones asociadas. (SECM_Comb...zip (946.0 KB))

Saludos Doctor!

Le envió la última versión del archivo con las pantallas, hice algunas modificaciones (aumenté el campo de la clasificación anterior para las características de las masas y bloquee algunos campos para que no puedan ser modificados y corregí errores en la tabla fuente)

Lo envió comprimido para que pueda abrirlo y descargarlo sin problemas, recuerde que requiere del programa Microsoft Access 2000 o 2003

Gracias de nuevo por su valiosísimo tiempo

- Próxima reunión antes del jueves y viernes santos (semana santa 6-10 de abril de 2009)
 - Nota: la reunión se pospuso para el martes 14 de abril del 2009.

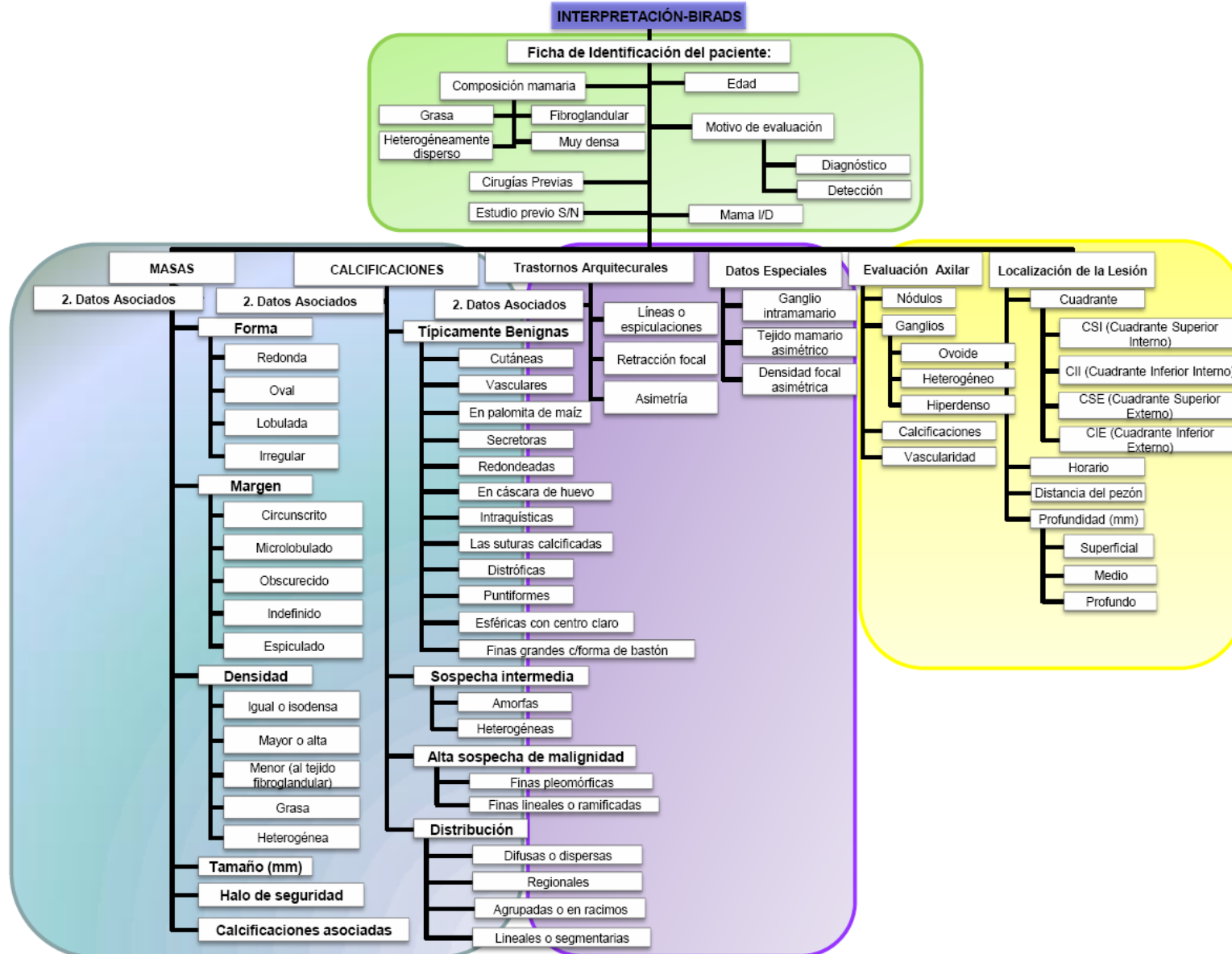


SISTEMA EXPERTO PARA LA INTERPRETACIÓN MAMOGRÁFICA

Anexos



Anexo D. Diagrama para la interpretación mamográfica





SISTEMA EXPERTO PARA LA INTERPRETACIÓN MAMOGRÁFICA

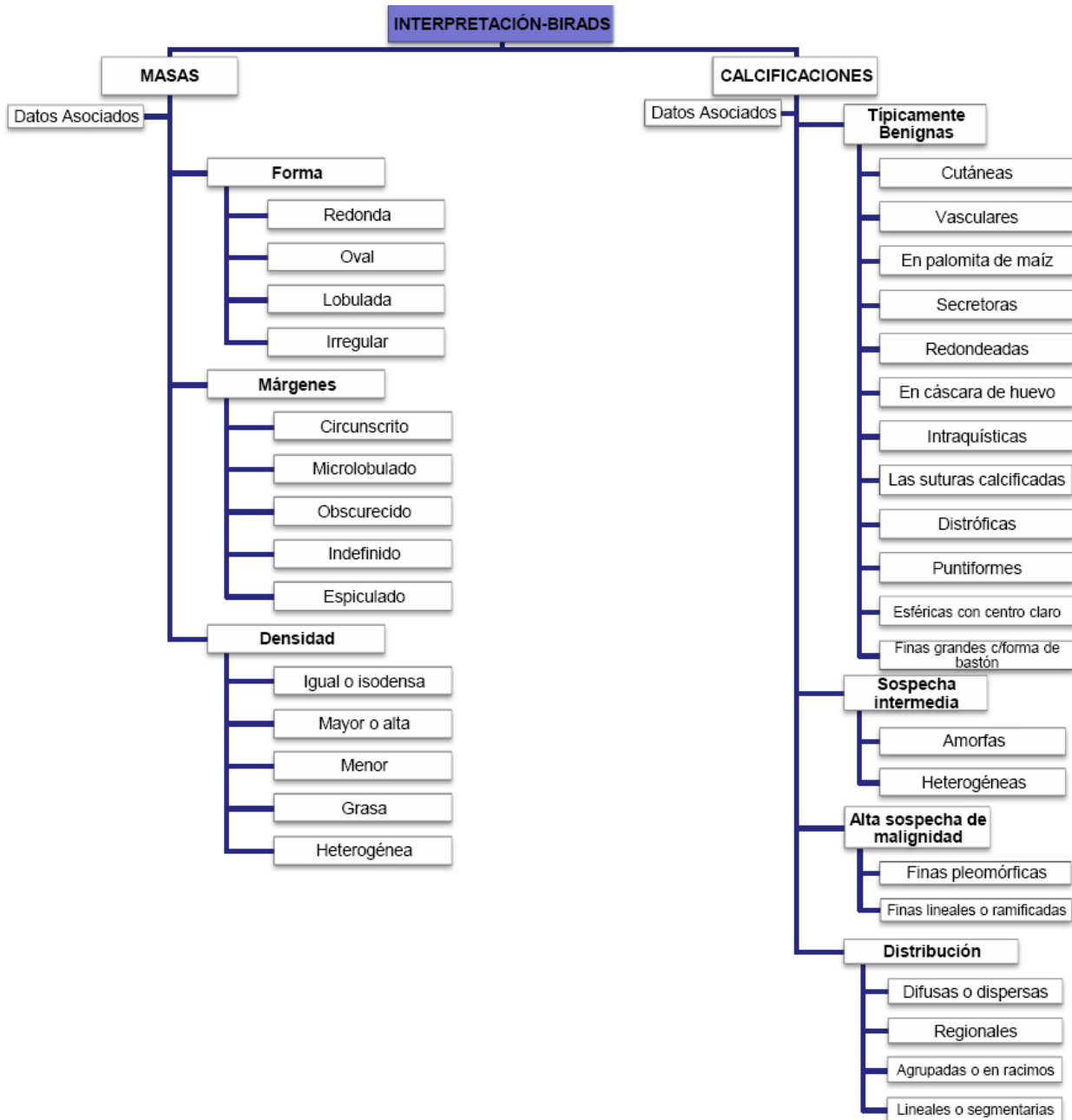
Anexos



Anexo E. Reporte de clasificación

Introducción

Después de la realización de un análisis minucioso de los elementos a considerar para clasificar los hallazgos en una mamografía, se determinó que los elementos que aportaban una clasificación apegada al lenguaje estándar internacional BIRADS son la Masa y las Calcificaciones, cuya caracterización involucra variables como las que se muestran en la Img. 1.



Img. 1 Variables analizadas



SISTEMA EXPERTO PARA LA INTERPRETACIÓN MAMOGRÁFICA Anexos



Consideraciones para la clasificación

Para la clasificación, se hicieron las siguientes consideraciones:

1. Se asignó la clasificación B0 cuando la mama tiene una composición mamaria “muy densa”, dado que en estos casos, la visibilidad en la mamografía no es óptima y como consecuencia es necesario hacer más estudios.
2. Cuando la mama es normal se asignó una clasificación B1, tal como lo menciona la documentación del BIRADS.
3. Cuando no existen Masas, Masas con calcificaciones o Calcificaciones, pero existen Trastornos arquitecturales, se clasifica como un BIRADS 3.
4. Cuando existe una masa Redonda u Oval con margen Circunscrito y con densidad Menor o Grasa también se cuestionará la existencia de Halo de Seguridad, si existe, se clasifica como un B2 si no existe se clasifica como un B3.
5. Para la categoría BIRADS 4, el experto decidió establecerla de manera general, sin las subclasificaciones, 4a, 4b y 4c.

Resultados finales

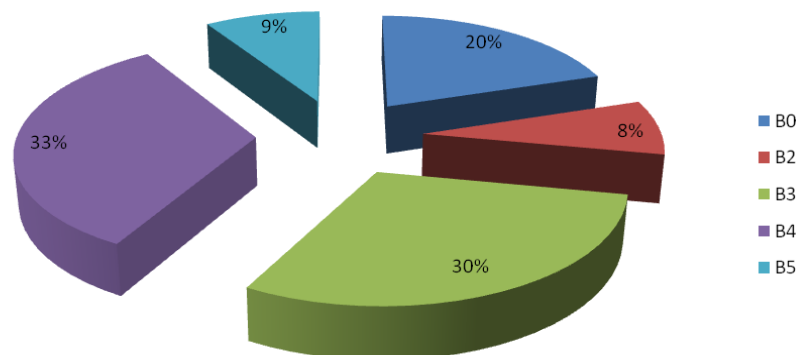
A continuación se muestra una tabla resumen con el conteo final las clasificaciones dadas a las combinaciones de MASAS (Ver Gráfica 1), MASAS con CALCIFICACIONES (Ver Gráfica 2) y CALCIFICACIONES (Ver Gráfica 3) y la suma TOTAL de las combinaciones anteriores (Ver Gráfica 4):

CLASIFICACIÓN	MASAS	MASAS CON CALCIFICACIONES	CALCIFICACIONES	TOTAL
B0	20	0	0	20
B2	8	36	46	90
B3	30	282	5	317
B4	33	710	13	756
B5	9	172	0	181
Total	100	1200	64	1364

Tabla 1 Reporte de clasificación

En seguida se muestran gráficas que ilustran las cantidades (traducidas en porcentajes) mostradas en la Tabla 1.

Clasificaciones BIRADS para MASAS



Gráfica 1 Distribución de clasificaciones para MASAS

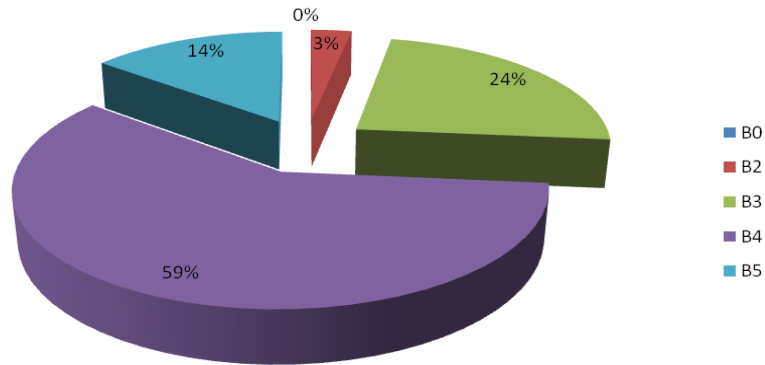


SISTEMA EXPERTO PARA LA INTERPRETACIÓN MAMOGRAFICA

Anexos

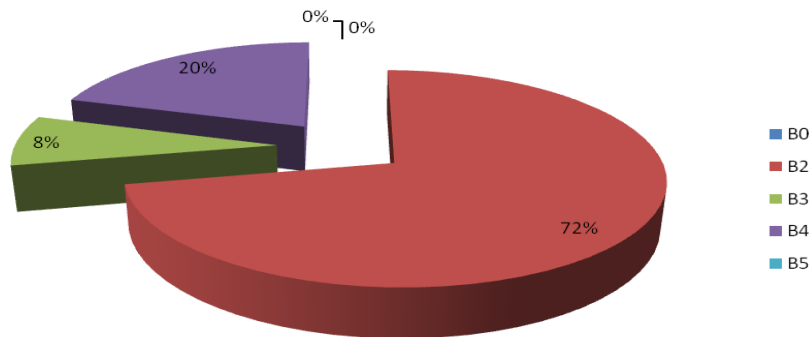


Clasificaciones BIRADS para MASAS con CALCIFICACIONES



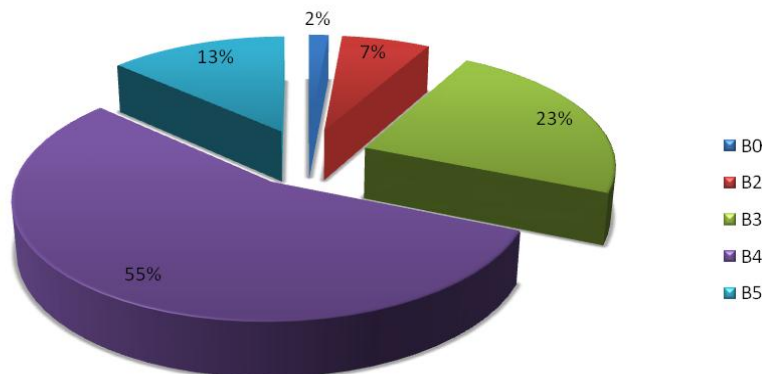
Gráfica 2 Distribución de clasificaciones para MASAS con CALCIFICACIONES

Clasificaciones BIRADS para CALCIFICACIONES



Gráfica 3 Distribución de clasificaciones para CALCIFICACIONES

Clasificación BIRADS



Gráfica 4 Distribución de clasificaciones BIRADS totales

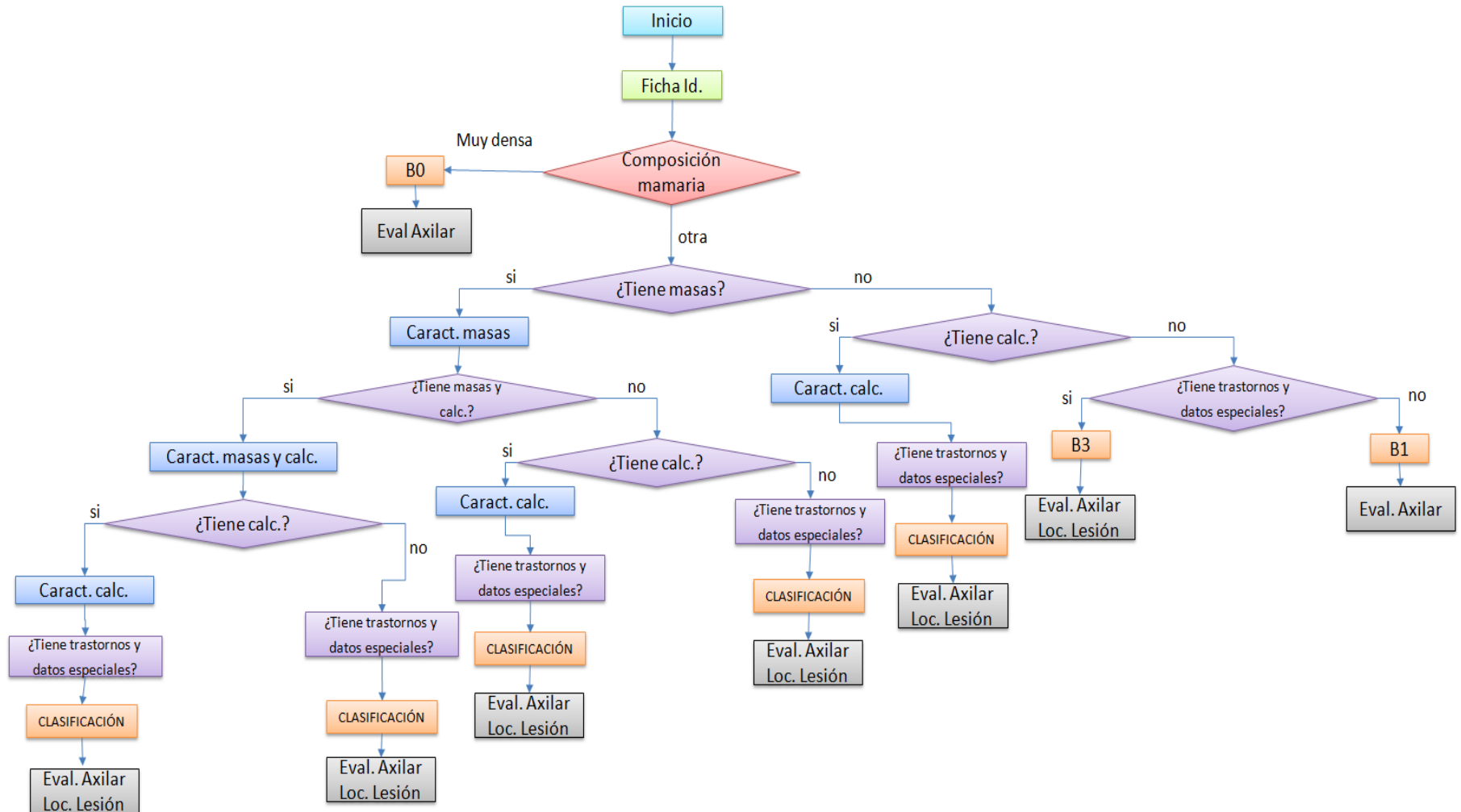


SISTEMA EXPERTO PARA LA INTERPRETACIÓN MAMOGRÁFICA

Anexos



Anexo F. Árbol de decisión





SISTEMA EXPERTO PARA LA INTERPRETACIÓN MAMOGRÁFICA

Anexos



Anexo G. Pantallas de navegación por módulos

Inicio



The screenshot shows the main interface of the 'Sistema Experto para la interpretación mamográfica'. At the top, there is a green header with the university logo and the system title. Below this is a navigation menu with four items: 'Cáncer de Mama', 'BIRADS', 'Sistemas Expertos', and 'SEIM'. The 'SEIM' item is currently selected. Under 'SEIM', there are three sub-items: 'Introducción', 'Categorías', and 'Terminología'. The main content area features a large grey box on the left with the text 'Sistema Experto para la interpretación mamográfica (SEIM)' and two links: 'Home' and '--> Interpretación mamografía'. To the right of this box, the text reads '¡BIENVENIDOS!' followed by a detailed paragraph about the system's purpose and how it uses BIRADS standards. At the bottom center, there is a green button labeled 'Continuar'.

Pantalla de bienvenida



SISTEMA EXPERTO PARA LA INTERPRETACIÓN MAMOGRÁFICA

Anexos



Identificación de la paciente

The screenshot shows a web-based interface for a mamography interpretation expert system. The title bar reads "Sistema Experto para la interpretación mamográfica". A navigation menu includes "Cáncer de Mama", "BIRADS", "Sistemas Expertos", and "SEIM". The main content area is titled "Ficha de identificación" and is divided into two sections: "Datos generales de la paciente" and "Datos clínicos de la paciente".

Sistema Experto para la interpretación mamográfica (SEIM)
[Home](#)
[--Interpretación mamografía](#)

Datos generales de la paciente

¿Cuál es el nombre de la paciente?

Nombre:

Apellido Paterno:

Apellido Materno:

¿Cuál es la edad de la paciente?

¿Qué mama se evaluará? Seleccione----

Datos clínicos de la paciente

¿Cuál es el motivo de evaluación? Seleccione----

¿Ha tenido cirugías previas? Sí No

¿Tiene estudios previos? Sí No

¿Cuál es el resultado de esos estudios? Seleccione----

Continuar **Cancelar**

Pantalla de Identificación de la paciente



SISTEMA EXPERTO PARA LA INTERPRETACIÓN MAMOGRÁFICA

Anexos



Clasificación de los hallazgos.

The screenshot shows the 'Sistema Experto para la interpretación mamográfica' interface. At the top, there is a navigation bar with 'Cáncer de Mama', 'BIRADS', 'Sistemas Expertos', and 'SEIM'. The main content area is titled 'Composición mamaria de la paciente'. Below this, there is a section for 'Identificación de la composición mamaria' with the question '¿Cuál es la composición mamaria que presenta la paciente?'. A dropdown menu is currently set to 'Grasa'. A 'Continuar' button is located below the dropdown. On the left side, there is a sidebar with the text 'Sistema Experto para la interpretación mamográfica (SEIM)' and navigation links for 'Home' and '--Interpretación mamografía'.

Pantalla de Composición mamaria

The screenshot shows the 'Sistema Experto para la interpretación mamográfica' interface. At the top, there is a navigation bar with 'Cáncer de Mama', 'BIRADS', 'Sistemas Expertos', and 'SEIM'. The main content area is titled 'Masas'. Below this, there is a section for 'Existencia de Masas' with the question 'Identifica en la mamografía la presencia de MASAS?'. There are two radio buttons, 'Sí' and 'No', with 'No' being selected. A 'Continuar' button is located below the radio buttons. On the left side, there is a sidebar with the text 'Sistema Experto para la interpretación mamográfica (SEIM)' and navigation links for 'Home' and '--Interpretación mamografía'.

Pantalla de existencia de Masas



Pantalla de caracterización de Masas

Pantalla de existencia de Masas con calcificaciones asociadas



SISTEMA EXPERTO PARA LA INTERPRETACIÓN MAMOGRÁFICA

Anexos



Sistema Experto para la interpretación mamográfica

Cáncer de Mama | BIRADS | Sistemas Expertos | SEIM

Masas y Calcificaciones

Caracterización de las CALCIFICACIONES asociadas a las MASAS

¿Qué tipo de calcificaciones asociadas a las masas están presentes en la mamografía? Cutáneas

¿Qué distribución tienen las calcificaciones asociadas a las masas, en la mamografía? Agrupadas

Continuar

Sistema Experto para la interpretación mamográfica (SEIM)

[Home](#)
[--Interpretación mamografía](#)

Pantalla de caracterización de Masas con calcificaciones asociadas

Sistema Experto para la interpretación mamográfica

Cáncer de Mama | BIRADS | Sistemas Expertos | SEIM

Calcificaciones

Existencia de calcificaciones

¿Identifica en la mamografía la presencia de CALCIFICACIONES?

Sí No

Continuar

Sistema Experto para la interpretación mamográfica (SEIM)

[Home](#)
[--Interpretación mamografía](#)

Pantalla de existencia de Calcificaciones



SISTEMA EXPERTO PARA LA INTERPRETACIÓN MAMOGRÁFICA

Anexos



Sistema Experto para la interpretación mamográfica

Cáncer de Mama | BIRADS | Sistemas Expertos | SEIM

Sistema Experto para la interpretación mamográfica (SEIM)

[Home](#)
[--Interpretación mamografía](#)

Calcificaciones

Registro de características de las CALCIFICACIONES

¿Qué calcificaciones encuentra en la mamografía? Cutáneas

¿Que distribución tienen las calcificaciones en la mamografía? Agrupadas

Continuar

Pantalla de caracterización de Calcificaciones

Sistema Experto para la interpretación mamográfica

Cáncer de Mama | BIRADS | Sistemas Expertos | SEIM

Sistema Experto para la interpretación mamográfica (SEIM)

[Home](#)
[--Interpretación mamografía](#)

Trastornos arquitecturales y Datos especiales

Trastornos arquitecturales

¿Identifica la presencia de TRASTORNOS ARQUITECTURALES? Sí No

Tipo de trastornos arquitecturales Seleccione---

¿Tiene DATOS ASOCIADOS? Sí No

Tipo de datos asociados Seleccione---

Datos especiales

¿Tiene DATOS ESPECIALES? Sí No

Tipo de datos especiales Seleccione---

Continuar

Pantalla de existencia de Trastornos arquitecturales y Datos especiales



SISTEMA EXPERTO PARA LA INTERPRETACIÓN MAMOGRÁFICA

Anexos



Conclusiones y emisión de recomendaciones

Sistema Experto para la interpretación mamográfica

Cáncer de Mama | BIRADS | Sistemas Expertos | SEIM

La composición mamaria de la paciente es muy densa, por lo que conviene hacer otros estudios

CLASIFICACION

Clasificación	BIRADS 0
Conclusión	MASTOGRAFIA INCOMPLETA
Recomendaciones	Se deben realizar mas estudios. Puede necesitar imagenes adicionales con diferentes proyecciones mamográficas, ultrasonido complementario o resonancia magnética

[Home](#)
[--Interpretación mamografía](#)

Continuar

Pantalla de Clasificación final y Emisión de recomendaciones

Evaluación axilar y localización de la lesión

Sistema Experto para la interpretación mamográfica

Cáncer de Mama | BIRADS | Sistemas Expertos | SEIM

Evaluación axilar y localización de la lesión

Evaluación axilar

¿Tiene nódulos? Sí No

Características de los nódulos

¿Tiene calcificaciones? Sí No

¿Tiene vascularidad? Sí No

Localización de la lesión

¿En qué cuadrante se localiza la lesión?

Horario (hh:mm) :

Distancia del pezón (mm)

Profundidad

Continuar **Cancelar**

Pantalla de Evaluación axilar y Localización de la lesión



SISTEMA EXPERTO PARA LA INTERPRETACIÓN MAMOGRÁFICA

Anexos



Anexo H. Diccionario de datos

Tablas	
Nombre	Descripción
calcificaciones	Descripción de hallazgos en las Calcificaciones descubiertas en la mamografía.
datose	Contiene los Datos especiales detectados en la mamografía de la paciente.
evaluación	Datos referentes a la Evaluación axilar de la paciente.
localización	Se registra información referente a la Localización de la lesión.
masas	Contiene información descriptiva de los hallazgos mamográficos detectados en Masas y Masas con calcificaciones asociadas.
paciente	Se almacena información general de las pacientes cuyo caso se presenta.
trastornos	Contiene la información referente al registro de Trastornos arquitecturales.

calcificaciones					
Nombre	Tipo de Dato	Null	PK	FK	Descripción
pac_idPac	INTEGER(6)	NOT NULL	No	Si	Identificador único de la paciente, se asigna de forma consecutiva.
calc_idCalc	INTEGER(6)	NOT NULL	Si	No	Identificador único de la calcificación, asignado de forma consecutiva.
calc_Tipo	VARCHAR(40)	NOT NULL	No	No	Tipo de calcificación, puede ser: <ul style="list-style-type: none"> • Cutáneas • Vasculares • Palomita de maíz • Secretoras • Redondeadas • En cáscara de huevo • Intraquísticas • Suturas calcificadas • Distróficas • Puntiformes • Esféricas con centro claro • Finas con forma bastón • Finas pleomórficas • Finas lineales • Amorfas • Heterogéneas
calc_Distribucion	VARCHAR(30)	NOT NULL	No	No	Distribución de la calcificación. Puede ser alguna de las siguientes: <ul style="list-style-type: none"> • Agrupadas • Dispersas • Lineales • Regionales
calc_Tieneda	VARCHAR(3)	NOT NULL	No	No	Indica la existencia de datos asociados a las calcificaciones: <ul style="list-style-type: none"> • Si • No
calc_DatosAsociados	VARCHAR(30)	NOT NULL	No	No	Registro del tipo de datos asociados a las calcificaciones, puede ser: <ul style="list-style-type: none"> • Retracción cutánea • Retracción del pezón • Engrosamiento cutáneo • Vascularidad regional • Ductos mayores dilatados
calc_Nivel	VARCHAR(20)	NOT NULL	No	No	Se refiere al nivel de malignidad de la



SISTEMA EXPERTO PARA LA INTERPRETACIÓN MAMOGRÁFICA

Anexos



calcificaciones					
Nombre	Tipo de Dato	Null	PK	FK	Descripción
					calcificación: <ul style="list-style-type: none">• Benigna• Sospecha intermedia• Alta sospecha de malignidad

evaluación					
Nombre	Tipo de Dato	Null	PK	FK	Descripción
pac_idPac	INTEGER(6)	NOT NULL	No	Si	Identificador único de la paciente, se asigna de forma consecutiva.
eval_idEval	INTEGER(6)	NOT NULL	Si	No	Identificador único de la Evaluación de la paciente, asignado de forma consecutiva
eval_TieneNodulos	VARCHAR(3)	NOT NULL	No	No	Indica la existencia de nódulos, puede ser: <ul style="list-style-type: none">• Si• No
eval_TipoNodulos	VARCHAR(20)	NOT NULL	No	No	Se refiere al tipo de nódulos, puede ser alguna de las siguientes opciones: <ul style="list-style-type: none">• Ovoide• Heterogéneo• Hiperdenso
eval_Calc	VARCHAR(2)	NOT NULL	No	No	Indica la existencia de Calcificaciones en la Evaluación axilar, puede ser: <ul style="list-style-type: none">• Si• No
eval_Vascularidad	VARCHAR(2)	NOT NULL	No	No	Indica la existencia de Vascularidad en la Evaluación axilar, puede ser: <ul style="list-style-type: none">• Si• No

localización					
Nombre	Tipo de Dato	Null	PK	FK	Descripción
pac_idPac	INTEGER(6)	NOT NULL	No	Si	Identificador único de la paciente, se asigna de forma consecutiva.
loca_idLoc	INTEGER(6)	NOT NULL	Si	No	Identificador único de la Localización de la lesión, asignado de forma consecutiva
loca_Cuadrante	VARCHAR(50)	NOT NULL	No	No	Descripción de la lesión por cuadrantes, puede ser alguna de las siguientes opciones: <ul style="list-style-type: none">• Cuadrante Superior Interno• Cuadrante Inferior Interno• Cuadrante Superior Externo• Cuadrante Superior Interno
loca_Horario	VARCHAR(5)	NOT NULL	No	No	Descripción de la Localización de a lesión mediante el sistema horario, la lesión se describe como si se superpusiera un reloj sobre cada mama. (hh:mm)
loca_Distancia	INTEGER(3)	NOT NULL	No	No	Ubicación de la lesión expresada según la distancia respecto al pezón y expresada en milímetros.
loca_Profundidad	VARCHAR(20)	NOT NULL	No	No	Identificación de la profundidad de la lesión, puede ser cualquiera de las siguientes opciones: <ul style="list-style-type: none">• Superficial• Medio• Profundo



SISTEMA EXPERTO PARA LA INTERPRETACIÓN MAMOGRÁFICA

Anexos



masas					
Nombre	Tipo de Dato	Null	PK	FK	Descripción
pac_idPac	INTEGER(6)	NOT NULL	No	Si	Identificador único de la paciente, se asigna de forma consecutiva.
masa_idMasa	INTEGER(6)	NOT NULL	Si	No	Identificador único de las Masas, asignado de forma consecutiva
masa_Tamano	INTEGER(3)	NOT NULL	No	No	Tamaño de la masa dado en milímetros (mm).
masa_Forma	VARCHAR(10)	NOT NULL	No	No	Identificación de la forma de la Masa, puede ser: <ul style="list-style-type: none"> • Redonda • Oval • Lobulada • Irregular
masa_Margen	VARCHAR(15)	NOT NULL	No	No	Identificación del tipo de margen de la Masa, puede ser: <ul style="list-style-type: none"> • Circunscrito • Microlobulado • Obscurecido • Indefinido • Espiculado
masa_Densidad	VARCHAR(15)	NOT NULL	No	No	Identificación de la densidad de la Masa, puede ser alguna de las siguientes opciones: <ul style="list-style-type: none"> • Isodensa • Alta • Menor • Grasa • Heterogénea
masa_TieneData	VARCHAR(3)	NOT NULL	No	No	Registro de la existencia de Datos asociados a la Masa, puede ser: <ul style="list-style-type: none"> • Si • No
masa_DatosAsociados	VARCHAR(30)	NOT NULL	No	No	Tipo de Datos asociados a la Masa, puede ser alguna de las siguientes opciones: <ul style="list-style-type: none"> • Retracción cutánea • Retracción del pezón • Engrosamiento cutáneo • Vascularidad regional • Ductos mayores dilatados
masas_Calctipo	VARCHAR(35)	NOT NULL	No	No	Indica el tipo de Calcificaciones asociadas a la Masa, pueden ser: <ul style="list-style-type: none"> • Cutáneas • Vasculares • Palomita de maíz • Secretoras • Redondeadas • En cáscara de huevo • Intraquísticas • Suturas calcificadas • Distróficas • Puntiformes • Esféricas con centro claro • Finas con forma bastón • Finas pleomórficas • Finas lineales • Amorfas • Heterogéneas
masas_Calcdist	VARCHAR(20)	NOT NULL	No	No	Distribución de la Calcificación asociada a la Masa. Puede ser alguna de las siguientes:



SISTEMA EXPERTO PARA LA INTERPRETACIÓN MAMOGRÁFICA

Anexos



masas					
Nombre	Tipo de Dato	Null	PK	FK	Descripción
					<ul style="list-style-type: none"> • Agrupadas • Dispersas • Lineales • Regionales
masas_Calcnivel	VARCHAR(30)	NOT NULL	No	No	Se refiere al nivel de malignidad de la Calcificación asociada a la Masa: <ul style="list-style-type: none"> • Benigna • Sospecha intermedia • Alta sospecha de malignidad
masa_Halo	VARCHAR(3)	NOT NULL	No	No	Registro de halo de seguridad en la masa, cuando corresponda.

paciente					
Nombre	Tipo de Dato	Null	PK	FK	Descripción
pac_idPac	INTEGER(6)	NOT NULL	Si	No	Identificador único de la paciente, se asigna de forma consecutiva.
pac_Nombre	VARCHAR(50)	NOT NULL	No	No	Indica el nombre de la paciente.
pac_ApPaterno	VARCHAR(50)	NOT NULL	No	No	Indica el apellido paterno de la paciente.
pac_ApMaterno	VARCHAR(50)	NOT NULL	No	No	Se refiere al apellido materno de la paciente.
pac_Edad	INTEGER(2)	NOT NULL	No	No	Almacena la edad de la paciente en años.
pac_Cirugias	VARCHAR(2)	NOT NULL	No	No	Indica la existencia de cirugías previas en la paciente, puede ser: <ul style="list-style-type: none"> • Si • No
pac_Estudios	VARCHAR(2)	NOT NULL	No	No	Indica la existencia de estudios previos en la paciente, puede ser: <ul style="list-style-type: none"> • Si • No
pac_Motivo	VARCHAR(20)	NOT NULL	No	No	Se refiere al motivo de evaluación de la paciente, puede ser alguna de las siguientes opciones: <ul style="list-style-type: none"> • Detección • Diagnóstico
pac_TipoEp	VARCHAR(3)	NOT NULL	No	No	Se refiere a la clasificación BIRADS obtenida en estudios previos, pueden ser valores en el rango de 0 al 6.
pac_Mama	VARCHAR(10)	NOT NULL	No	No	Indica la mama que se está interpretando, puede ser: <ul style="list-style-type: none"> • Izquierda • Derecha
pac_Masa	CHAR(2)	NOT NULL	No	No	Se refiere a la existencia de Masas en la mamografía, puede ser: <ul style="list-style-type: none"> • Si • No
pac_MasasCalc	VARCHAR(2)	NULL	No	No	Se refiere a la existencia de Masas con calcificaciones en la mamografía, puede ser: <ul style="list-style-type: none"> • Si • No
pac_Calcificaciones	CHAR(2)	NOT NULL	No	No	Se refiere a la existencia de Calcificaciones en la mamografía, puede ser: <ul style="list-style-type: none"> • Si • No
pac_TrasArq	CHAR(2)	NOT NULL	No	No	Se refiere a la existencia de Trastornos arquitecturales en la mamografía, puede ser:



SISTEMA EXPERTO PARA LA INTERPRETACIÓN MAMOGRÁFICA

Anexos



paciente					
Nombre	Tipo de Dato	Null	PK	FK	Descripción
					<ul style="list-style-type: none"> • Si • No
pac_DatosEspeciales	CHAR(2)	NOT NULL	No	No	Se refiere a la existencia de Datos especiales en la mamografía, puede ser: <ul style="list-style-type: none"> • Si • No
pac_Clasificacion	VARCHAR(2)	NOT NULL	No	No	Se refiere a la clasificación dada por el sistema experto, a los hallazgos detectados en la mamografía.
pac_Composicion	VARCHAR(25)	NOT NULL	No	No	Indica la descripción de la composición mamaria, puede ser alguna de las siguientes opciones: <ul style="list-style-type: none"> • Grasa • Fibroglandular dispersa • Heterogéneamente densa • Muy densa

trastornos					
Nombre	Tipo de Dato	Null	PK	FK	Descripción
pac_idPac	INTEGER(6)	NOT NULL	No	Si	Identificador único de la paciente, se asigna de forma consecutiva.
tras_idTras	INTEGER(6)	NOT NULL	Si	No	Identificador único de los Trastornos arquitecturales, asignado de forma consecutiva
tras_TieneTrasArq	VARCHAR(2)	NOT NULL	No	No	Se refiere a la existencia de Trastornos arquitecturales.
tras_TipoTrasArq	VARCHAR(30)	NOT NULL	No	No	Indica el tipo de Trastornos arquitecturales, puede ser alguna de las siguientes opciones: <ul style="list-style-type: none"> • Líneas o especulaciones • Retracción focal • Asimetrías
tras_TieneData	VARCHAR(2)	NOT NULL	No	No	Se refiere a la existencia de Datos asociados a los Trastornos arquitecturales.
tras_TipoData	VARCHAR(30)	NOT NULL	No	No	Indica el tipo de Datos asociados a los Trastornos arquitecturales, , puede ser alguna de las siguientes opciones: <ul style="list-style-type: none"> • Retracción cutánea • Retracción del pezón • Engrosamiento cutáneo • Vascularidad regional • Ductos mayores dilatados
tras_TieneDate	VARCHAR(2)				Se refiere a la existencia de Datos especiales en la mamografía.
tras_TipoDate	VARCHAR(30)				Indica el tipo de Datos especiales detectados en la mamografía, puede ser alguna de las siguientes opciones: <ul style="list-style-type: none"> • Ganglio intramamario • Tejido mamario asimétrico • Densidad focal asimétrica



SISTEMA EXPERTO PARA LA INTERPRETACIÓN MAMOGRÁFICA

Anexos



Anexo I. Base de conocimiento

Inicio.clp

```

=====
; Sistema Experto para la interpretación mamográfica 2009
; @utor: Areli Vazquez Padilla Díaz
=====

(defglobal ?*clas* = 0)

===== Definición e inicialización de variables=====
(deftemplate paciente
  (slot nombre)
  (slot mama)
  (slot edad (default nil))
  (slot moteval (default nil));Motivo de evaluacion
  (slot cirugia-previa (default nil));cirugias previas
  (slot estudio-previo (default nil));estudios previos
  (multislot tipo-ep (default nil));Valor del estudio previo
  (slot tmasa (default nil));tiene masas
  (slot tcalc (default nil));tiene calcificaciones
  (slot tmc (default nil));Tiene masas con calcificaciones
  (slot ttrasarq (default nil));Tiene trastornos arquitecturales
  (slot tdatose (default nil));Tiene datos especiales
  (slot evalaxilar (default nil))
  (slot localiza (default nil) )

  (deftemplate masa
    (slot masa-pac);
    (slot masa-tam)
    (multislot masa-form (default nil))
    (multislot masa-marg (default nil))
    (multislot masa-dens (default nil))
    (slot masa-alo (default nil))
    (slot masa-tc (default nil));Calcificaciones asociadas a masas
    (slot masa-tda (default nil))
    (multislot masa-tipoda (default nil))
    (multislot masa-calc (default nil));
    (slot masa-calc-nivel (default nil))
    (multislot masa-calc-dist (default nil)))

  (deftemplate masahalo
    (slot masathalo (default nil)))

  (deftemplate composicion
    (multislot cmpmam (default nil) );Composicion mamaria )

  (deftemplate calcificaciones
    (slot calc-pac (default nil));Calcificaciones
    (multislot calc (default nil))
    (slot calc-nivel (default nil))
    (multislot calc-dist (default nil))
    (slot calc-da (default nil))
    (slot calc-tda (default nil)))

  (deftemplate trastornos
    (slot ta-pac (default nil))
    (multislot ta-tipo (default nil))
    (slot ta-da (default nil))
    (multislot ta-tipoda (default nil)))

  (deftemplate datosespeciales
    (slot de-pac (default nil))
    (multislot de-tipo (default nil)))

  .....

=====Funciones que imprimen código HTML=====
(deffunction composicion (?prompt ?factName) ; Imprime formulario para composición mamaria
  (printout t "<h2 class='titizq'> Composición mamaria de la paciente </h2><br>")
  (printout t "<FORM id='composicionMamaria' name='composicionMamaria' method='post' action='general_jsp/Composicion.jsp'>")
  (printout t "<fieldset class='cfieldset'><legend class='clegend'>Identificación de la composición mamaria</legend>")
  (printout t "<table width='100%' border='0' cellspacing='0' cellpadding='0' class='ctabla' align='center'> <tr> <td
  class='cetiqueta'> <br><br>")
  (printout t "?prompt "<p><td align='center'><br><label><select name='cmp' id='cmp'>")
  (printout t "<option value='grasa'>Grasa</option> <option value='fibroglandular_dispersa'>Fibroglandular dispersa</option>")
  (printout t "<option value='heterogeneamente_densa'>Heterogéneamente densa</option><option value='muy_densa'>Muy
  densa</option></select></label><br><br></td></tr></table></fieldset>")
  (printout t "<tr><td align='center'><br><INPUT TYPE='submit' VALUE='Continuar'></td></tr></FORM>"))

(deffunction masas (?prompt ?factName) ; Imprime formulario para la existencia de Masas
  (printout t "<h2 class='titizq'>Masas</h2><br>")
  (printout t "<FORM id='tieneMasas' name='tieneMasas' method='post' action='Masas.jsp'> <tr> <td class='ccelda'>")
  (printout t "<fieldset class='cfieldset'> <legend class='clegend'>Existencia de Masas</legend> ")
  (printout t "<table width='100%' border='0' cellspacing='0' cellpadding='0' class='ctabla' align='center'><tr><td
  class='cetiqueta'><br><br>")

```



SISTEMA EXPERTO PARA LA INTERPRETACIÓN MAMOGRÁFICA

Anexos



```
(printout t ?prompt "<p><br></td></tr><tr><td align=\"center\">S&iacutec; <input type=\"radio\" class=\"cradio\" value=\"si\" name=\"mmasas\" checked=\"checked\"/>")
(printout t "No <input type=\"radio\" class=\"cradio\" value=\"no\" name=\"mmasas\"/><br><br></td></tr></table></fieldset><tr><td align=\"center\"><br><INPUT TYPE=\"submit\" VALUE=\"Continuar\"></td></tr></table></FORM>"))
```

```
(deffunction caracMasas (?tam ?form ?marg ?dens ?factName); Imprime formulario para la caracterización de Masas
(printout t "<h2 class=\"titizq\"> Masas </h2><br>")
(printout t "<FORM id=\"caractMasas\" name=\"caractMasas\" method=\"post\" action=\"CarMasas.jsp\"><br>")
(printout t "<fieldset class=\"cfifieldset\" <legend class=\"cllegend\">Caracterizaci&oacute;n de las masas</legend>")
(printout t "<table width=\"100%\" border=\"0\" cellpadding=\"0\" cellspacing=\"0\" class=\"ctabla\" align=\"center\"><tr> <td class=\"etiqueta\">")
(printout t ?tam "<span class=\"Estilo1\"*</span></td><td class=\"ccelda\"><label>")
(printout t "<input name=\"Tamano\" type=\"text\" id=\"Tamano\" size=\"4\" maxlength=\"3\" align=\"left\" onchange=\"validarSiNumero(this.value);\"/> </label> </td></tr><tr><td class=\"etiqueta\">")
(printout t ?form "</td><td class=\"ccelda\"><select name=\"masaFormal\" id=\"masaFormal\">")
(printout t "<option value=\"redonda\" selected=\"selected\">Redonda</option><option value=\"oval\">Oval</option>")
(printout t "<option value=\"lobulada\">Lobulada</option><option value=\"irregular\">Irregular</option></select></td></tr><tr> <td class=\"etiqueta\">")
(printout t ?marg "</td><td class=\"ccelda\"><select name=\"masaMargen\" id=\"masaMargen\">")
(printout t "<option value=\"circunscrito\" selected=\"selected\">Circunscrito</option><option value=\"microlobulado\">Microlobulado</option><option value=\"obscurecido\">Obscurecido</option>")
(printout t "<option value=\"indefinido\">Indefinido</option><option value=\"espiculado\">Espiculado</option></select></td></tr><tr> <td class=\"etiqueta\">")
(printout t ?dens "</td><td class=\"ccelda\"><select name=\"masaDensidad\" id=\"masaDensidad\"><option value=\"isodensa\" selected=\"selected\">Isodensa</option>")
(printout t "<option value=\"alta\">Alta</option><option value=\"menor\">Menor</option><option value=\"grasa\">Grasa</option>")
(printout t "<option value=\"heterogenea\">Heterog&eacute;nea</option></select></td></tr></table></fieldset>")
(printout t "<br><fieldset class=\"cfifieldset\"><legend class=\"cllegend\">Datos asociados</legend>")
(printout t "<table width=\"100%\" border=\"0\" cellpadding=\"0\" cellspacing=\"0\" class=\"ctabla\" align=\"center\"><tr> <td class=\"etiqueta\">")
(printout t "¿La masa tiene DATOS ASOCIADOS?<p></td><td class=\"ccelda\"> S&iacutec; <input type=\"radio\" class=\"cradio\" value=\"si\" name=\"masaDatosal\" checked=\"checked\" onclick=\"bloquea2()\"/>")
(printout t "No <input type=\"radio\" class=\"cradio\" value=\"no\" name=\"masaDatosal\" onclick=\"bloquea2()\"/></td></tr></table>")
(printout t "<tr><td class=\"etiqueta\">Tipo de datos asociados</td><td><select name=\"masaTipoDatosal\" id=\"masaTipoDatosal\">")
(printout t "<option value=\"nil\">Seleccione----</option><option value=\"retraccion-cutanea\">Retracci&oacute;n cut&aacute;nea</option><option value=\"retraccion-pezon\">Retracci&oacute;n del pez&oacute;n</option>")
(printout t "<option value=\"engrosamiento-cutaneo\">Engrosamiento cut&aacute;neo</option><option value=\"vascularidad-regional\">Vascularidad regional</option>")
(printout t "<option value=\"ductos-mayores-dilatados\">Ductos mayores dilatados</option></select><br><br></td></tr></table></fieldset>")
(printout t "<table border=\"0\" align=\"center\"><tr align=\"center\"><td align=\"center\"><br><INPUT TYPE=\"submit\" VALUE=\"Continuar\" onclick=\"return valido(1)\"></td></tr></table></FORM>"))
```

```
(deffunction masahalo (?pregunta ?factName) ; Imprime la pregunta para registrar la existencia de halo de seguridad
(printout t "<tr><td class=\"ccelda\">")
(printout t "<fieldset class=\"cfifieldset\"><legend class=\"cllegend\">Existencia de halo de seguridad</legend>")
(printout t "<table width=\"100%\" border=\"0\" cellpadding=\"0\" cellspacing=\"0\" class=\"ctabla\" align=\"center\"><tr><td class=\"etiqueta\"><br><br>")
(printout t ?pregunta "<p><br><br></td></tr><tr><td align=\"center\"> S&iacutec; <input type=\"radio\" class=\"cradio\" value=\"si\" name=\"mmasashalo\" checked=\"checked\"/>")
(printout t "No <input type=\"radio\" class=\"cradio\" value=\"no\" name=\"mmasashalo\"/><br><br></td></tr></table></fieldset><tr>"))
```

```
(deffunction masacalc (?pregunta ?factName); Imprime formulario para la existencia de Masas con calcificaciones asociadas
(printout t "<h2 class=\"titizq\"> Masas y Calcificaciones</h2><br>")
(printout t "<FORM id=\"tieneMasasCalc\" name=\"tieneMasasCalc\" method=\"post\" action=\"MasasCalc.jsp\"><tr><td class=\"ccelda\">")
(printout t "<fieldset class=\"cfifieldset\"><legend class=\"cllegend\">Existencia de Masas con Calcificaciones asociadas</legend>")
(printout t "<table width=\"100%\" border=\"0\" cellpadding=\"0\" cellspacing=\"0\" class=\"ctabla\" align=\"center\"> <tr><td class=\"etiqueta\"><br><br>")
(printout t ?pregunta "<p><br><br></td></tr><tr><td align=\"center\">S&iacutec; <input type=\"radio\" class=\"cradio\" value=\"si\" name=\"mmasascalc\" checked=\"checked\"/>")
(printout t "No <input type=\"radio\" class=\"cradio\" value=\"no\" name=\"mmasascalc\"/><br><br></td></tr></table></fieldset>"))
```

```
(deffunction calccaract (?h2 ?fset ?pregunta1 ?pregunta2 ?factName); Imprime formulario para caracterizar Calcificaciones
(printout t "<h2 class=\"titizq\">?h2</h2><br><FORM id=\"CarCalc\" name=\"CarCalc\" method=\"post\"")
(printout t " action=\"CarCalc.jsp\"><tr><td class=\"ccelda\">")
(printout t "<fieldset class=\"cfifieldset\"><legend class=\"cllegend\">?fset</legend>")
(printout t "<table width=\"100%\" border=\"0\" cellpadding=\"0\" cellspacing=\"0\" class=\"ctabla\" align=\"center\"><tr>")
(printout t "<td class=\"etiqueta\"><br><br> ?pregunta1 <br><br></td><td class=\"ccelda\"><select name=\"cTipo\" id=\"cTipo\">")
(printout t "<option value=\"cutaneas\">Cut&aacute;neas</option><option value=\"vasculares\">Vasculares</option>")
(printout t "<option value=\"palomita_maiz\">Forma palomita ma&iacute;z</option><option value=\"secretoras\">Secretoras</option>"))
```



SISTEMA EXPERTO PARA LA INTERPRETACIÓN MAMOGRÁFICA

Anexos



```
(printout t "<option value=\"redondeadas\">Redondeadas</option><option value=\"cascara_huevo\">C&acute;scara huevo</option>")
(printout t "<option value=\"intraquisticas\">Intraqu&acute;sticas</option><option value=\"suturas_calcificadas\">Suturas
calcificadas</option>")
(printout t "<option value=\"distroficadas\">Distr&acute;ficas</option><option value=\"puntiformes\">Puntiformes</option>")
(printout t "<option value=\"esfericas_centro_claro\">Esf&eacute;ricas con centro claro</option><option value=\"finas_forma_baston\">Finas
con forma de bast&acute;n</option>")
(printout t "<option value=\"finas_pleomorficas\">Finas pleom&acute;rficas</option><option value=\"finas_lineales\">Finas
lineales</option>")
(printout t "<option value=\"amorfas\">Amorfas</option><option value=\"heterogeneas\">Heterog&eacute;neas</option>")
(printout t "</select> </td></tr><tr> <td class=\"cetiqueta\"><br><br> ?pregunta2 <br><br></td><td class=\"ccelda\"><select
name=\"cDist\" id=\"cDist\">")
(printout t "<option value=\"agrupadas\">Agrupadas</option><option value=\"dispersas\">Dispersas</option>")
(printout t "<option value=\"lineales\">Lineales</option><option value=\"regionales\">Regionales</option>")
(printout t "</select><br><br></td></tr></table></fieldset>")
(printout t "<br><fieldset class=\"cfieldset\"><legend class=\"clegend\">Datos asociados</legend>")
(printout t "<table width=\"100%\" border=\"0\" cellpadding=\"0\" cellspacing=\"0\" class=\"ctabla\" align=\"center\"><tr> <td
class=\"cetiqueta\">")
(printout t "¿Tiene DATOS ASOCIADOS?<p></td><td class=\"ccelda\"> S&acute;<input type=\"radio\" class=\"cradio\" value=\"si\"
name=\"calcDatos\" checked=\"checked\" onclick=\"bloquea3()\"/>")
(printout t "No <input type=\"radio\" class=\"cradio\" value=\"no\" name=\"calcDatos\" onclick=\"bloquea3()\"/></td></tr></table>")
(printout t "<tr><td class=\"cetiqueta\">Tipo de datos asociados</td><td><select name=\"calcTipoDatos\" id=\"calcTipoDatos\">")
(printout t "<option value=\"nil\">Seleccione----</option><option value=\"retraccion-cutanea\">Retracci&acute;n
cut&acute;nea</option><option value=\"retraccion-pezon\">Retracci&acute;n del pez&acute;n</option>")
(printout t "<option value=\"engrosamiento-cutaneo\">Engrosamiento cut&acute;neo</option><option value=\"vascularidad
regional\">Vascularidad regional</option>")
(printout t "<option value=\"ductos-mayores-dilatados\">Ductos mayores dilatados</option></select><br><br></td></tr></table></fieldset>")
(printout t "<table border=\"0\" align=\"center\"><tr align=\"center\"> <td align=\"center\"><br><INPUT TYPE=\"submit\"
VALUE=\"Continuar\"></td></tr></table></FORM>")
```

```
(deffunction calcificaciones (?pregunta ?factname); Imprime formulario para registrar la existencia de Calcificaciones
(printout t "<h2 class=\"titizq\"> Calcificaciones </h2><br>")
(printout t "<FORM id=\"tieneCalc\" name=\"tieneCalc\" method=\"post\" action=\"Calcificaciones.jsp\"><tr><td class=\"ccelda\">")
(printout t "<fieldset class=\"cfieldset\"><legend class=\"clegend\">Existencia de calcificaciones</legend>")
(printout t "<table width=\"100%\" border=\"0\" cellpadding=\"0\" cellspacing=\"0\" class=\"ctabla\" align=\"center\"><tr><td
class=\"cetiqueta\"><br><br>")
(printout t "?pregunta <br><br></td></tr><tr> <td align=\"center\"> S&acute;<input type=\"radio\" class=\"cradio\" value=\"si\" name=\"tcalc\"
checked=\"checked\"/>")
(printout t "No <input type=\"radio\" class=\"cradio\" value=\"no\" name=\"tcalc\"/><br><br></td></tr></table></fieldset>")
(printout t "<tr><td align=\"center\"><br><INPUT TYPE=\"submit\" VALUE=\"Continuar\"></td></tr></table></FORM>"))
```

```
(deffunction clasific (?clasifica ?concl ?recom)
(printout t "<br><fieldset class=\"cfieldset\"><legend class=\"clegend\">CLASIFICACION</legend>")
(printout t "<table width=\"100%\" border=\"0\" cellpadding=\"0\" cellspacing=\"0\" class=\"ctabla\" align=\"center\">")
(printout t "<tr><td class=\"ccelda\">Clasificaci&acute;n</td><td class=\"titizq\">\"?clasifica")
(printout t "</td></tr><tr><td class=\"ccelda\"> Conclusi&acute;n</td><td class=\"ccelda\">\"?concl")
(printout t "</td></tr><tr><td class=\"ccelda\">Recomendaciones</td><td class=\"ccelda\">\"?recom")
(printout t "</td></tr></table></fieldset>")
(printout t "<table border=\"0\" align=\"center\"><tr align=\"center\"><td><a href=\"EvalLoc.jsp\"")
(printout t "target=\"centro\"><img src=\"../images/pagina/b_continuar1.jpg\" border=\"0\"")
(printout t "width=\"105\" height=\"30\" align=\"center\"></a></td></tr></table>"))
```

```
=====HECHO INICIAL=====
(defrule MAIN::inicio;Regla inicial, imprime la pregunta sobre la composición mamaria
?i<(initial-fact)
?p<-(paciente (nombre ?nom) (mama ?m) (edad ?e) (moteval ?mot) (estudio-previo ?ep) (tipo-ep ?tep) (cirugia-previa ?cp))
=>
(retract ?i)
(assert (clasificacion nil))
(composicion "¿Cu&acute;l es la composici&acute;n mamaria que presenta la paciente?" cmpmam))

(defrule MAIN::PacienteJoven
(clasificacion nil)
(paciente (nombre ?nom) (edad ?e))
(test (and (> ?e 15) (< ?e 30)))
=>
(assert (edad joven))
```



SISTEMA EXPERTO PARA LA INTERPRETACIÓN MAMOGRÁFICA

Anexos



```
(printout t "<br><table class=\"ctabla\"> <tr> <td> <br> La paciente es muy joven, por lo que el aspecto mamografico puede ser muy denso<br></td> </tr> </table>"))
```

```
(defrule MAIN::MamaMuyDensa
  (clasificacion nil)
  (composicion (cmpmam "muy_densa"))
  (paciente (nombre ?nom) (mama ?m) (edad ?e) (moteval ?mot) )
  =>
  (printout t crlf "<br><table class=\"ctabla\"> <tr> <td> <br> La composici&oacute;n mamaria de la paciente es muy densa, por lo que conviene hacer otros estudios <br></td> </tr> </table><br><br><br>")
  (assert (clasificacion 0)))
```

```
(defrule MAIN::TieneMasas; pregunta si en la mamografía se identifican MASAS
  (declare (saliencia 10000)) ; Regla de mayor prioridad
  (clasificacion nil)
  (composicion (cmpmam ?cmp))
  (test (or (eq ?cmp "grasa") (eq ?cmp "fibroglandular_dispersa") (eq ?cmp "heterogeneamente_densa")))
  =>
  (masas "Identifica en la mamograf&iacute;a la presencia de MASAS?" masas)
  (assert (pregmasas si)))
```

```
(defrule MAIN::ModificaTieneMasa
  (declare (saliencia 9990))
  (clasificacion nil)
  (composicion (cmpmam ?cmp))
  (tienemasas (tmasa ?tm))
  ?p<- (paciente (nombre ?nom) (tmasa nil) (tmc nil))
  (test (or (eq ?cmp "grasa") (eq ?cmp "fibroglandular_dispersa") (eq ?cmp "heterogeneamente_densa")))
  =>
  (modify ?p (tmasa ?tm))
  (assert (masa (masa-pac ?nom)))
  (if (eq ?tm "si") then
    (batch "Masas.clp") ; Si hay masas, se cargan las regal para masas en la Memoria de trabajo
  else
    (if (eq ?tm "no") then
      (modify ?p (tmc "no")))
    ))
```

=====Reglas sobre MASAS=====

```
(defrule MAIN::Masas-Caract; Si hay masas realiza una caracterización
  (declare (saliencia 9000))
  (clasificacion nil)
  (tienemasas (tmasa "si"))
  (paciente (tmasa "si"))
  ?m<- (masa (masa-pac ?nom) (masa-tam nil) (masa-form nil) (masa-marg nil) (masa-dens nil))
  =>
  (caracMasas "¿Cu&aacute;l es el TAMAÑO de la masa? (en mm)" "Identifique la FORMA de la masa" "Identifique el MARGEN de la masa" "Identifique la DENSIDAD de la masa" carmasas))
```

```
(defrule MAIN::ModificaMasas ; Regla que trabaja con el hecho modificado por la información introducida por el usuario
  (declare (saliencia 8700))
  (clasificacion nil)
  (masamod (mtam ?mtam) (mform ?mform) (mmarg ?mmarg) (mdens ?mdens) (tdatosa ?da) (tipoda ?tda))
  ?m<- (masa (masa-pac ?nom) (masa-tam nil) (masa-form nil) (masa-marg nil) (masa-dens nil) (masa-tda nil) (masa-tipoda nil))
  =>
  (modify ?m (masa-tam ?mtam) (masa-form ?mform) (masa-marg ?mmarg) (masa-dens ?mdens) (masa-tda ?da) (masa-tipoda ?tda))
  (assert (caractmasas si))
  (assert (carmasas si))
  (assert (modcarmasas si)))
```

```
(defrule MAIN::HaloSeguridad ; La activación de ésta regla imprime la pregunta sobre la existencia de Halo de seguridad
```



SISTEMA EXPERTO PARA LA INTERPRETACIÓN MAMOGRÁFICA

Anexos



```
(declare (saliencia 8600))
(composicion (cmpmam ?cmp))
(tienemasas (tmasa "si"))
(clasificacion nil)
?mcm<-(modcarmasas si)
(paciente (tmasa "si"))
(probable B2)
?m <-(masa (masa-pac ?nom))
(test (or (eq ?cmp "grasa") (eq ?cmp "fibroglandular_dispersa") (eq ?cmp "heterogeneamente_densa"))))
```

=>

```
(masahalo "¿La masa tiene HALO DE SEGURIDAD?" thalo)
(retract ?mcm))
```

```
(defrule MAIN::ModificaMasaHaloSeguridad
```

```
(declare (saliencia 8500))
(clasificacion nil)
(composicion (cmpmam ?cmp))
(masahalo (masathalo ?mth))
(paciente (tmasa "si"))
?m <-(masa (masa-pac ?nom) (masa-alo nil))
(test (or (eq ?cmp "grasa") (eq ?cmp "fibroglandular_dispersa") (eq ?cmp "heterogeneamente_densa"))))
```

=>

```
(modify ?m (masa-alo ?mth))
(if (eq ?mth "si") then (assert (cmasas 2)) else (if (eq ?mth "no") then (assert (cmasas 3)); Si existe Halo de seguridad la
clasificación dada a las Masas es de un B2, en caso contrario es un B3) )
(assert (preghalo si)))
```

```
;=====MASAS con CALCIFICACIONES ASOCIADAS=====
```

```
(defrule MAIN::Masas-Calc; La activación de esta regla imprime el formulario sobre la existencia de Masas con
calcificaciones asociadas
```

```
(declare (saliencia 8000))
(composicion (cmpmam ?cmp))
?mcar<-(caractmasas si)
(tienemasas (tmasa "si"))
(clasificacion nil)
?p<-(paciente (tmasa "si"))
?m<-(masa (masa-pac ?nom))
(test (or (eq ?cmp "grasa") (eq ?cmp "fibroglandular_dispersa") (eq ?cmp "heterogeneamente_densa"))))
```

=>

```
(masacalc "¿La MASA identificada tiene CALCIFICACIONES asociadas?" tmasa)
(retract ?mcar)
(assert (pregmasasccalc si)))
```

```
(defrule MAIN::ModificaMasasConCalcificaciones
```

```
(declare (saliencia 7990))
(clasificacion nil)
(tienemasas (tmasa "si"))
(tienemasacalc (masa-tc ?mtc))
?p<-(paciente (nombre ?nom) (tmasa "si") (tmc nil))
?m<-(masa (masa-pac ?nom) (masa-tc nil))
(composicion (cmpmam ?cmp))
(test (or (eq ?cmp "grasa") (eq ?cmp "fibroglandular_dispersa") (eq ?cmp "heterogeneamente_densa"))))
```

=>

```
(modify ?p (tmc ?mtc))
(modify ?m (masa-tc ?mtc))
(if (eq ?mtc "si") then
(batch "MasasCalc1.clp") (batch "MasasCalc2.clp") (batch "MasasCalc3.clp") (batch "MasasCalc4.clp") (batch
"MasasCalc5.clp") (batch "MasasCalc6.clp") (batch "MasasCalc7.clp") ))
```

```
(defrule MAIN::MasaCalc_Tipo-Dist; Calcificación y Distribución
```

```
(declare (saliencia 7000))
(clasificacion nil)
```



SISTEMA EXPERTO PARA LA INTERPRETACIÓN MAMOGRÁFICA

Anexos



```
(pregmasascalc si)
(paciente (nombre ?nom) (masa "si") (tmc "si"))
?m<-(masa (masa-pac ?nom) (masa-tc "si"))
=>
(masacalccaract "Masas y Calcificaciones" "Caracterizaci&oacute;n de las CALCIFICACIONES asociadas a las MASAS"
"¿Qu&eacute; tipo de calcificaciones asociadas a las masas est&aacute;n presentes en la mamograf&iacute;a?"
"¿Qu&eacute; distribuci&oacute;n tienen las calcificaciones asociadas a las masas, en la mamograf&iacute;a?" carcalcam)
(assert (caractmasascalc si))
```

```
(defrule MAIN::MasaCalcNivel; Clasifica la Calcificacion asociada a las maas en: Benigna, Sospecha intermedia o Maligna
(declare (saliencia 6000))
(clasificacion nil)
(paciente (nombre ?nom) (masa "si") (tmc "si"))
?m<-(masa (masa-pac ?nom) (masa-tc "si") (masa-calc ?mca) (masa-calc-nivel nil))
=>
(if (or (eq ?mca "cutaneas")(eq ?mca "vasculares")
(eq ?mca "palomita_maiz") (eq ?mca "secretoras") (eq ?mca "redondeadas") (eq ?mca "cascara_huevo")
(eq ?mca "intraquisticas") (eq ?mca "suturas_calcificadas") (eq ?mca "distroficas") (eq ?mca "puntiformes")
(eq ?mca "esfericas_centro_claro")(eq ?mca "finas_forma_baston") )
then (modify ?m (masa-calc-nivel benignas)) )
(if (or (eq ?mca "finas_pleomorficas") (eq ?mca "finas_lineales") )
then (modify ?m (masa-calc-nivel alta_sospecha_malignidad)) )
(if (or (eq ?mca "amorficas") (eq ?mca "heterogeneas") )
then (modify ?m (masa-calc-nivel sospecha_intermedia)) )
(assert (nivelmc si)))
```

Masas.clp

```
=====
; Combinaciones para MASAS, la convención para el nombre de las reglas fue la siguiente:
; R&M_#_BX ; en donde R=Regla &=No. de regla en CLIPS M=Masas #=id. en archivo de excel B=BIRADS X=1,2,3,4,5
=====
(defrule R1M_1-4_B3;
  (clasificacion nil)
  (paciente (nombre ?nom) (masa "si"))
  (masa (masa-pac ?nom) (masa-tam ?mt) (masa-form ?mf) (masa-marg "circunscrito") (masa-dens "isodensa"))
  (test (or (eq ?mf "redonda") (eq ?mf "oval") (eq ?mf "lobulada") (eq ?mf "irregular"))))
=>
  (assert (cmasas 3)))

(defrule R2M_5-7_B3;
  (clasificacion nil)
  (paciente (nombre ?nom) (masa "si"))
  (masa (masa-pac ?nom) (masa-tam ?mt) (masa-form ?mf) (masa-marg "microlobulado") (masa-dens "isodensa"))
  (test (or (eq ?mf "redonda") (eq ?mf "oval") (eq ?mf "lobulada"))))
=>
  (assert (cmasas 3)))

(defrule R3M_8_B4;
  (clasificacion nil)
  (paciente (nombre ?nom) (masa "si"))
  (masa (masa-pac ?nom) (masa-tam ?mt) (masa-form "irregular") (masa-marg "microlobulado") (masa-dens "isodensa"))
=>
  (assert (cmasas 4)))
```



SISTEMA EXPERTO PARA LA INTERPRETACIÓN MAMOGRÁFICA

Anexos



MasasCalcificaciones.clp

```
=====PARTE 5=====
; Combinaciones para MASAS CON CALCIFICACIONES, la convención para el nombre de las reglas fue la siguiente:
; R&MC_#_BX; en donde R=Regla &=No. de regla en CLIPS MC=Masas y Calcificaciones #=id. en archivo de excel B=BIRADS X=1,2,3,4,5
=====
(defrule R294MC_805-807_B4 ;
  (clasificacion nil)
  (paciente (nombre ?nom) (tmasa "si"))
  (masa (masa-tc "si") (masa-pac ?nom) (masa-form ?mf) (masa-marg "indefinido") (masa-dens "heterogenea") (masa-calc
?mca) (masa-calc-nivel alta_sospecha_malignidad) (masa-calc-dist "agrupadas"))
  (test (or (eq ?mf "redonda") (eq ?mf "oval") (eq ?mf "lobulada")))
=>
  (assert (cmcalc 4)))

(defrule R295MC_808_B5 ;
  (clasificacion nil)
  (paciente (nombre ?nom) (tmasa "si"))
  (masa (masa-tc "si") (masa-pac ?nom) (masa-form "irregular") (masa-marg "indefinido") (masa-dens "heterogenea")
(masa-calc ?mca) (masa-calc-nivel alta_sospecha_malignidad) (masa-calc-dist "agrupadas"))
=>
  (assert (cmcalc 5)))

(defrule R296MC_809-810_B5 ;
  (clasificacion nil)
  (paciente (nombre ?nom) (tmasa "si"))
  (masa (masa-tc "si") (masa-pac ?nom) (masa-form ?mf) (masa-marg "espicalado") (masa-dens "heterogenea") (masa-calc
?mca) (masa-calc-nivel alta_sospecha_malignidad) (masa-calc-dist "agrupadas"))
  (test (or (eq ?mf "lobulada") (eq ?mf "irregular")))
=>
  (assert (cmcalc 5)))
.....
```

Calcificaciones.clp

```
=====
;Combinaciones para CALCIFICACIONES, la convención para el nombre de las reglas fue la siguiente:
; R&C_#_BX ; en donde R=Regla &=No. de regla en CLIPS C=Calcificaciones #=id. en archivo de excel B=BIRADS X=1,2,3,4,5
=====
(defrule R1C_1-2_B3 ;
  (clasificacion nil)
  (paciente (nombre ?nom) (tcalc "si"))
  (calcificaciones (calc-pac ?nom) (calc ?ca) (calc-nivel sospecha_intermedia) (calc-dist "dispersas"))
  (test (or (eq ?ca "amorfias") (eq ?ca "heterogeneas")))
=>
  (assert (ccalc 3)) )

(defrule R2C_3-4_B4 ;
  (clasificacion nil)
  (paciente (nombre ?nom) (tcalc "si"))
  (calcificaciones (calc-pac ?nom) (calc ?ca) (calc-nivel sospecha_intermedia) (calc-dist "regionales"))
  (test (or (eq ?ca "amorfias") (eq ?ca "heterogeneas")))
=>
  (assert (ccalc 4)))

(defrule R3C_5-6_B4 ;
  (clasificacion nil)
  (paciente (nombre ?nom) (tcalc "si"))
  (calcificaciones (calc-pac ?nom) (calc ?ca) (calc-nivel sospecha_intermedia) (calc-dist "agrupadas"))
  (test (or (eq ?ca "amorfias") (eq ?ca "heterogeneas")))
=>
  (assert (ccalc 4)))
.....
```

*A mi mamá Lupita por darme todo su apoyo y caminar conmigo día a día.
A mi papá por enseñarme que el trabajo constante da frutos.
A mi familia, gracias a Ricardo, Julita, Teresa, Joram...*

A todas las personas que creyeron en mí, gracias a Faviola Narváez, Ángeles Maldonado, Judith Cruz, Cristina Múzquiz, Heidi Pérez, Ana K. Martínez, Hugo Reyes, Susana Torres, Norma Martínez, Genaro Muñoz, Alejandro Rodríguez, Ángeles Sánchez, Ana Rodríguez, Eduardo Sánchez, Janete Mejía

A Edna Márquez por su ayuda constante.

A Arturo Reinking por motivarme para lograr mi meta.

Gracias a la UNAM y a su planta de profesores por darme una formación íntegra.