

0.1190 23/21



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERIA
División de Estudios de Posgrado

**T
E
S
I
S**

UNA METODOLOGIA BASADA EN MODELOS PARA
LA ADQUISICION DEL CONOCIMIENTO DE
MÚLTIPLES EXPERTOS

T E S I S

Que para obtener el Grado de
DOCTOR EN INGENIERIA

Presenta

OSVALDO CAIRO BATTISTUTTI

México, D. F. 1997

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

UNA METODOLOGIA BASADA EN MODELOS PARA LA ADQUISICION DEL CONOCIMIENTO DE MULTIPLES EXPERTOS

Oswaldo Cairó Battistutti

RESUMEN

En los inicios de los 80's la comunidad de inteligencia artificial (IA) mostraba poco interés en realizar investigaciones tanto sobre metodologías para la construcción de sistemas basados en conocimientos (SBC), como sobre metodologías para la adquisición del conocimiento (AC). La principal idea era la construcción rápida de prototipos con máquinas LISP y esqueletos de sistemas expertos (SE). Con el paso del tiempo, la comunidad observó la necesidad de un desarrollo estructurado en proyectos de sistemas basados en conocimientos y la adquisición del conocimiento se reconoció como la etapa crítica y el cuello de botella para la construcción de los mismos. Muchas publicaciones han aparecido desde entonces. Sin embargo, muy pocas han enfatizado en planes formales para manejar la adquisición del conocimiento y de múltiples fuentes de conocimiento (FC). En esta tesis se propone una metodología basada en modelos para realizar la adquisición del conocimiento de múltiples fuentes de conocimiento. El objetivo de la metodología es, en cierto sentido, mejorar las fases de adquisición del conocimiento de múltiples fuentes de conocimiento y la de modelación del conocimiento haciéndolas más eficientes.

A Knowledge Acquisition Methodology Based on Models from Multiple Experts

OSVALDO CAIRO

ABSTRACT

At the beginning of the 80's, the Artificial Intelligence (AI) community showed little interest in research on methodologies for the construction of knowledge-based systems (KBS) and for knowledge acquisition (KA). The main idea was the rapid construction of prototypes with LISP machines, expert system shells, and so on. Over time, the community saw the need for a structured development of KBS projects, and knowledge acquisition was recognized as the critical stage and the bottleneck for the construction of KBS. Regarding knowledge acquisition, many publications have appeared since then. However, very few have focused on formal plans to manage knowledge acquisition and from multiple knowledge sources. This thesis addresses this important problem. The methodology is a formal plan based on models designed to manage knowledge acquisition from multiple knowledge sources. The objective of the methodology is to improve, in some sense, the phase of knowledge acquisition and knowledge modeling process making them more efficient.

Una Metodología Basada en Modelos para la Adquisición del Conocimiento de Múltiples Expertos

Oswaldo Cairó Battistutti

AGRADECIMIENTOS

Indudablemente a lo largo de los años, las discusiones a veces apasionadas pero siempre fructíferas con profesores e investigadores, varios de ellos amigos, han ido aclarando mis ideas e inequívocamente han contribuido con su granito de arena a la realización de esta tesis doctoral.

En los últimos años las opiniones certeras de Federico Kuhlmann, Francisco Cervantes y Francisco García Ugalde han sido de muchísima utilidad. Debo agradecerles también a todos ellos la cuidadosa revisión que hicieron del documento final.

Alfredo Weitzenfeld, Felipe Lara, Jesús Savage y Boris Escalante también con sus comentarios y sugerencias apropiadas contribuyeron a mejorar el documento.

Bob Wielinga, Guus Schreiber y Robert de Hoog, de la Universidad de Amsterdam, Holanda, contribuyeron con sus ideas, argumentos, sugerencias, y experiencias en forma significativa en la investigación. Gracias también por permitirme utilizar información confidencial para realizar esta investigación.

Finalmente, me resta agradecer al ITAM, la Institución donde laboro, y en particular al Departamento Académico de Computación, por motivarme a realizar la tesis doctoral y sufragar gastos originados por estos estudios; al Departamento de Matemáticas de la Facultad de Ciencias de la UNAM, por creer en esta investigación y ofrecerme todas las facilidades para que trabajara en la misma durante parte de mi estancia sabática; y al CONACYT, por otorgarme la Cátedra Patrimonial de Excelencia Nivel II, a fines del año anterior.

Para Silvia y Facundo por su amor, y el placer de compartir juntos el camino.

Una vez cuando era un niño tuve un sueño que quiero compartir. Estaba jugando en el patio de mi casa, en mi pueblo, en el cual se percibía el olor de las vacas y la fragancia de las flores de los campos sembrados, escuché algo en las noticias y luego dije: *ya se que voy a ser cuando sea grande. Voy a ser científico, voy a ser investigador.*

La vida ha ido pasando, y yo he ido cambiando... Sin embargo, el sueño siempre estuvo presente.

Tabla de Contenido

1. INTRODUCCION	1
1.1. Motivación y Planteamiento del Problema.....	2
1.2. Objetivos del Proyecto.....	3
1.3. Estructuración del Documento.....	4
2. ANTECEDENTES	6
2.1. Del Conocimiento.....	7
2.2. Fuentes de Conocimiento.....	11
2.3. Adquisición del Conocimiento.....	11
2.4. Sistemas Basados en Conocimientos.....	12
3. LA METODOLOGIA PARA LA ADQUISICION DEL CONOCIMIENTO	16
3.1. El Modelo de Ciclo de Vida de KAMET.....	17
3.2. Las Etapas de KAMET.....	19
3.3. Planeación Estratégica del Proyecto.....	20
3.3.1. Los Objetivos del Proyecto.....	21
3.3.2. Los Alcances y Límites del Proyecto.....	23
3.3.3. Los Usuarios Potenciales del Proyecto.....	24
3.3.4. Los Beneficios Potenciales del Proyecto.....	25
3.3.5. Modularización del Conocimiento.....	26
3.3.5.1. Criterios para modularizar.....	27
3.3.5.2. Tamaño, dificultad e importancia.....	28
3.3.6. La Selección de las Fuentes de Conocimiento.....	29
3.3.6.1. Identificación de las Fuentes de Conocimiento Pasivas.....	29
3.3.6.2. Identificación de las Fuentes de Conocimiento Activas.....	29
3.3.7. Los Mecanismos de Verificación y Validación.....	30
3.3.7.1. Métodos cuantitativos.....	31
3.3.7.2. Métodos cualitativos.....	33
3.3.7.3. Comentarios sobre validación y verificación.....	34
3.3.8. El Diccionario del Proyecto.....	35
3.3.9. Otros Recursos Necesarios para Realizar la AC.....	35
3.3.10. Técnicas para Realizar la Elicitación del Conocimiento.....	36
3.3.10.1. Técnicas conversacionales.....	36
3.3.10.2. Técnicas observacionales.....	38
3.3.10.3. Técnicas multidimensionales.....	39
3.3.10.4. Métodos para el registro de las entrevistas.....	40
3.3.10.5. Método para la documentación de las sesiones.....	41

3.3.11. La Estimación del Tiempo.....	42
3.3.12. La Estimación del Costo.....	42
3.3.12.1. Modelos experimentales.....	43
3.3.12.2. Modelos estáticos no-lineales.....	44
3.3.13. La Documentación del Proyecto.....	46
3.3.14. Manejo y Control de la Primera Etapa.....	47
3.4. Construcción del Modelo Inicial.....	49
3.4.1. La Elicitación del Conocimiento de las Fuentes de Conocimiento Pasivas.....	49
3.4.2. La Elicitación del Conocimiento de las Fuentes de Conocimiento Activas.....	50
3.4.2.1. El plan para realizar la elicitación del conocimiento de las FCAD.....	51
3.4.2.2. La elicitación del conocimiento de las FCAD.....	53
3.4.2.3. La forma en que el experto humano resuelve las tareas.....	54
3.4.2.4. Los mecanismos de razonamiento del experto.....	57
3.4.2.5. La presencia del conocimiento inexacto e incompleto.....	61
3.4.3. La Reestimación del Tiempo del Proyecto.....	64
3.4.4. La Biblioteca de Casos.....	65
3.4.5. La Construcción del Modelo Inicial.....	66
3.4.6. Verificación y Validación del Modelo Inicial.....	66
3.4.7. Revisión y Documentación del Modelo Inicial.....	67
3.4.8. Manejo y Control de la Segunda Etapa.....	68
3.5. Construcción del Modelo Retroalimentado.....	69
3.5.1. La Distribución del Modelo entre las FCAC.....	69
3.5.2. El Análisis del Modelo por parte de las FCAC.....	70
3.5.3. La Construcción del Modelo Retroalimentado.....	71
3.5.4. Verificación y Validación del Modelo Retroalimentado.....	73
3.5.5. Revisión y Documentación del Modelo Retroalimentado.....	73
3.5.6. Manejo y Control de la Tercera Etapa.....	74
3.6. Construcción del Modelo Final.....	75
3.6.1. El Análisis del Modelo por parte de las Fuentes de Conocimiento Activas.....	75
3.6.1.1. La agenda estándar.....	76
3.6.1.2. La técnica del grupo nominal.....	76
3.6.1.3. Reuniones electrónicas.....	77
3.6.1.4. La forma en que los grupos toman decisiones.....	79
3.6.2. La Construcción del Modelo Final.....	80
3.6.3. La Verificación y Validación del Modelo Final.....	81
3.6.4. Revisión y Documentación del Modelo Final.....	81
3.6.5. Manejo y Control de la Cuarta Etapa.....	82
4. LA MODELACION DEL CONOCIMIENTO.....	83
4.1. Sobre la Modelación del Conocimiento.....	84
4.2. El Lenguaje de Modelación Conceptual.....	86
4.3. La Formalización del Lenguaje de Modelación Conceptual de KAMET.....	89
4.3.1. Las Convenciones Diagramáticas del Lenguaje de Modelación Conceptual.....	89

4.3.2. Los Postulados del Lenguaje de Modelación Conceptual.....	90
4.4. Ejemplos de Modelación.....	93
5. EVALUACION Y RESULTADOS DE KAMET	98
5.1. Introducción.....	99
5.2. Sobre Métricas y Métodos de Evaluación.....	100
5.3. La Evaluación de KAMET.....	102
5.3.1. El Ciclo de Vida de KAMET, CommonKADS y Metodologías de IS.....	103
5.3.2. La Modelación en KAMET, CommonKADS y Metodologías de IS.....	105
5.3.3. KAMET y Otros Trabajos Similares.....	109
5.4. Resultados de KAMET.....	110
5.4.1. Modelación del Conocimiento en el Dominio Médico.....	110
5.4.1.1. Introducción al problema.....	110
5.4.1.2. La modelación del conocimiento de dolores de cabeza, neuralgias craneales y dolores faciales.....	111
5.4.1.3. Verificación y validación de los modelos.....	115
6. CONCLUSIONES Y LINEAS FUTURAS	117
6.1. Conclusiones.....	118
6.2. Líneas Futuras.....	120
REFERENCIAS	121
A1. MODELACION DEL CONOCIMIENTO DE DOLORES DE CABEZA, NEURALGIAS CRANEALES Y DOLORES FACIALES	127
A2. CLASIFICACION	144
A.3. ASPECTOS DE LA TEORIA DEL CONOCIMIENTO	155

Lista de Acrónimos

AC	Adquisición del Conocimiento
BC	Base de Conocimientos
BD	Base de Datos
CV	Ciclo de Vida
DP	Director del Proyecto
EH	Experto(s) Humano(s)
FC	Fuente de Conocimiento
FCA	Fuente de Conocimiento Activa
FCAC	Fuente de Conocimiento Activa de Consulta
FCAD	Fuente de Conocimiento Activa Dedicada
FCP	Fuente de Conocimiento Pasiva
IA	Inteligencia Artificial
IC	Ingeniero(s) en Conocimientos
IS	Ingeniería de Software
KAMET	Nombre de la Metodología
LMC	Lenguaje de Modelación Conceptual
PA	Patrocinadores
RE	Reuniones Electrónicas
SBC	Sistemas Basados en Conocimientos
SE	Sistemas Expertos
UP	Usuarios Potenciales

El concepto de la verdad se relaciona estrechamente con la esencia del conocimiento. El conocimiento verdadero es sólo conocimiento. El conocimiento falso no es conocimiento, es un error o una ilusión.

CAPITULO 1

Introducción

1

En los inicios de los 80's la comunidad de inteligencia artificial (IA) mostraba poco interés en realizar investigaciones tanto sobre metodologías para la construcción de sistemas basados en conocimientos (SBC), como sobre metodologías para la adquisición del conocimiento (AC). La principal idea era la construcción rápida de prototipos con máquinas LISP y esqueletos de sistemas expertos (SE). Con el paso del tiempo, la comunidad observó la necesidad de un desarrollo estructurado en proyectos de sistemas basados en conocimientos y la adquisición del conocimiento se reconoció como la etapa crítica y el cuello de botella para la construcción de los mismos. Muchas publicaciones han aparecido desde entonces. Sin embargo, muy pocas han enfatizado en planes formales para manejar la adquisición del conocimiento y de múltiples fuentes de conocimiento (FC). En este trabajo se propone una metodología basada en modelos para realizar la adquisición del conocimiento de múltiples fuentes de conocimiento.

1.1. MOTIVACION Y PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En los inicios de los 80's la comunidad de IA mostraba poco interés en realizar investigaciones sobre metodologías para la construcción de sistemas basados en conocimientos y para la adquisición del conocimiento. La principal idea era la construcción rápida de prototipos con máquinas LISP y esqueletos de sistemas expertos. Miles de aplicaciones de SBC se comenzaron a desarrollar en todo el mundo en diferentes dominios del conocimiento, y múltiples compañías empezaron a comercializar herramientas para la construcción, el mantenimiento y la verificación y validación de estos sistemas. Sin embargo, con el avance de la década se comenzó a visualizar un cambio en la construcción de sistemas basados en conocimientos. La comunidad de IA empezó a reconocer la necesidad de un desarrollo estructurado en este tipo de proyectos. Además, la adquisición del conocimiento se comenzaba a observar como la etapa crítica y el cuello de botella para la construcción de SBC.

Aunque en los últimos años se ha observado un crecimiento notable principalmente en capacidades para la construcción de SBC¹, la adquisición del conocimiento ya a fines de la década, del siglo y del milenio, aún sigue siendo el principal factor que obstaculiza un buen ciclo de vida en el desarrollo de sistemas de este tipo. Cabe destacar, sin embargo, que las principales consideraciones respecto a AC han cambiado desde entonces.

¹ CommonKADS representa una ejemplo de esta observación. La metodología es una colección de métodos estructurados para la construcción de SBC.

Primero, tal y como Breuker y Wielinga (1989) señalan tempranamente, los problemas asociados a la elicitación del conocimiento no constituyen el cuello de botella, por la simple razón de que no sabríamos como representar de forma implícita el conocimiento de un experto humano. Aunque se sabe mucho acerca de la actividad neural y bioquímica de la mente, poco se sabe de la memoria y del pensamiento. La forma en que los humanos representan el conocimiento no es clara en la actualidad (Vámos, 1996). Actualmente la adquisición del conocimiento se considera más como una actividad explícita de modelación que como una actividad de elicitación, extracción o minería. Esta consideración elimina muchos de los problemas psicológicos y prácticos asociados a la adquisición del conocimiento. Segundo, el conocimiento adquirido de múltiples fuentes de conocimiento es generalmente extenso, inexacto, incompleto, cualitativo, y no ordenado sistemáticamente. Por lo tanto, problemas de interpretación pueden ocurrir con frecuencia. Es necesario contar por lo tanto, con métodos efectivos para manejar la adquisición y modelación del conocimiento. Tercero, la transferencia del conocimiento en forma directa desde las múltiples fuentes de conocimiento a la máquina artificial, es menos organizada, menos confiable, menos comprensiva, menos efectiva, que cuando se representa en modelos de manera intermedia. El conocimiento es demasiado rico para ser transferido automáticamente desde las fuentes de conocimiento a la máquina artificial.

El principal problema parece ser entonces debido a una falta de métodos apropiados para la modelación del conocimiento de múltiples fuentes de conocimiento, herramientas que permitan manejar estos métodos, y concepciones acerca de como analizar e interpretar el conocimiento.

En la actualidad, mucha literatura aparece sobre adquisición del conocimiento. Metodologías para la construcción de SBC (DeHoog et al., 1996; Schreiber et al., 1994; Wielinga et al., 1992), herramientas automáticas para realizar la adquisición del conocimiento (Batti & Kamel, 1995; Nordbø et al., 1991; Dhaliwal & Benbasat, 1990), planteamientos y discusiones sobre adquisición del conocimiento (Medsker et al., 1995; Forsythe & Buchanan, 1992; Burton et al., 1990; Mittal & Dym, 1987), estrategias antropológicas (Wooten & Rowley, 1995), psicológicas (Hoffman, 1987), filosóficas (Compton & Jansen, 1990) y cognitivas (Moody et al., 1996; Gaines, 1989) relativas a la elicitación del conocimiento. Sin embargo, a pesar de la abundancia de literatura sobre AC, poca de la misma ha enfatizado en el problema real y actual: *un método que permita manejar en forma apropiada la adquisición del conocimiento de múltiples fuentes de conocimiento* (Cairó, 1998; Cairó, 1997; Cairó & Loyola, 1997). En este trabajo se propone entonces un plan formal basado en modelos para manejar la elicitación del conocimiento de múltiples fuentes de conocimiento. Cabe enfatizar, que por cuestiones prácticas y relativas a la difusión del trabajo, se ha dado a la metodología un nombre: KAMET².

1.2. OBJETIVOS DEL PROYECTO

² KAMET se deriva del nombre en inglés de la metodología: Knowledge Acquisition METhodology.

Capítulo 1. Introducción.

El trabajo desarrollado ataca el principal problema que existe actualmente sobre adquisición del conocimiento: falta de métodos apropiados para la modelación del conocimiento, herramientas para manejar esos métodos, y concepciones para analizar e interpretar el conocimiento. KAMET es una metodología basada en modelos diseñada para manejar la adquisición del conocimiento de múltiples fuentes de conocimiento. El objetivo de KAMET es en cierto sentido, mejorar las fases de adquisición y modelación del conocimiento haciendo a éstas más eficientes. El método proporciona un mecanismo robusto para realizar la adquisición del conocimiento en forma incremental, por etapas y en un ambiente de cooperación.

Para aplicar la metodología se utilizan modelos. Los modelos se pueden utilizar como medio de comunicación entre los expertos humanos (EH) y los ingenieros en conocimientos (IC), como ayuda en estrategias de razonamiento, y para la estructuración y descripción del conocimiento independientemente de la implementación. Los modelos constituyen una representación intermedia entre el conocimiento adquirido de múltiples fuentes de conocimiento y el conocimiento representado en la base de conocimientos. Los modelos completos deben representar el conocimiento de múltiples fuentes de conocimiento en un dominio específico del saber. Se puntualizan a continuación los objetivos globales del proyecto:

- a. Formular y describir una metodología para la adquisición del conocimiento de múltiples fuentes de conocimiento.
- b. Formular un método para la modelación del conocimiento.
- c. Formalizar el método para la modelación del conocimiento.

Proponer una metodología representa riesgos. Si la metodología es muy abstracta, probablemente su comprensión no resulte fácil y los pragmáticos pueden perder interés en ella. Por otra parte, si la metodología es muy especializada o ligada a cierta clase de aplicaciones, puede ocurrir que los ingenieros en conocimientos no le presten suficiente atención por su pérdida de generalidad. KAMET es una metodología de modelación. Está integrado con literatura actual, pretende ser general, aunque está dirigido principalmente a problemas de diagnóstico.

1.4. ESTRUCTURACION DEL DOCUMENTO

El documento está estructurado en seis capítulos y tres apéndices. En cada capítulo se presenta una breve introducción. Esta ilustra lo que el lector observará en el mismo, y muestra las publicaciones derivadas del contenido del capítulo.

En el capítulo 2 se describen algunos conceptos importantes que pueden ayudar a la comprensión del trabajo. En el siguiente capítulo se presenta el modelo de ciclo de vida de KAMET y se describen las diferentes etapas de la metodología, los pasos que constituyen las mismas, y las actividades asociadas a éstos. En el capítulo 4 se presenta el método para la modelación del conocimiento, se describe el lenguaje de modelación conceptual, se presenta la formalización del método, y se muestran algunos ejemplos de modelación. En el capítulo 5 se

discute sobre métricas y métodos de evaluación, se presenta la evaluación de la metodología y los resultados arrojados por ésta. Finalmente, en el último capítulo se presentan las conclusiones generales del proyecto y las líneas futuras del mismo.

Existen también tres apéndices. En el primero se presenta los modelos completos de una aplicación importante desarrollada con KAMET. En el segundo se presenta la extensión de la metodología a problemas de clasificación. Se presenta también un método de este tipo y la solución de una aplicación. Finalmente, en el último apéndice se presentan algunas observaciones respecto a la teoría del conocimiento que pueden resultar de interés.

Cómo podemos conocer si un conocimiento es verdadero?. Esa es la cuestión del criterio de la verdad. Los datos fenomenológicos no nos dicen nada sobre si existe un criterio semejante. El fenómeno del conocimiento implica sólo su presunta existencia, no su existencia real.

CAPITULO 2

Antecedentes

2

En este capítulo se describen algunos conceptos que se consideran fundamentales para la comprensión y el desarrollo de la propuesta. Existen un gran número de términos y conceptos relativos al tema adquisición y modelación del conocimiento. Algunos incluso no tienen una aceptación generalizada. La polémica continúa en torno a los mismos, y en ella participan especialistas de diferentes áreas. En este capítulo sólo presentamos los conceptos más importantes, aquellos que de alguna forma impactan el trabajo.

2.1. DEL CONOCIMIENTO

La teoría de la ciencia se descompone en su parte formal y en su parte material. La parte formal está directamente relacionada con la lógica. Esta investiga los principios formales del conocimiento, es decir, las formas y las leyes más generales del pensamiento humano. Investiga los entes lógicos como tales, su arquitectura íntima y sus relaciones mutuas, la concordancia del pensamiento consigo mismo, no su concordancia con el objeto. La parte material está relacionada con la teoría del conocimiento. Es decir, supuestos materiales más generales del conocimiento científico. La teoría del conocimiento es una explicación e interpretación filosófica del conocimiento humano. Existen dos ramas dentro de esta teoría: la del conocimiento filosófico y la del conocimiento científico. El primero está dirigido a la totalidad de las cosas. El segundo, el que nos interesa en este proyecto, está orientado hacia las parcelas de la realidad.

El conocimiento es la captación de los objetos, sus modos y relaciones. Se puede considerar al conocimiento como un objeto de la gnoseología o teoría del conocimiento, de la ontología, la psicología, la lógica, y la epistemología. La gnoseología trata al conocimiento humano como problema filosófico, la ontología trata del ser en general y de sus propiedades trascendentes, la psicología trata del alma, sus facultades y operaciones, y la lógica es la ciencia que expone las leyes, los modos y formas del conocimiento científico. La epistemología, por otra parte, tiene como objetivo el estudio de la naturaleza, la estructura y los orígenes del conocimiento. En la Figura 2.1. se pueden observar algunas categorías de la epistemología (Giarratano & Riley, 1994).

Dentro de las teorías filosóficas, Aristóteles, Platón, Kant, Locke, Mill, Descartes, Hume, y otros, definen tipos de conocimiento. En nuestra era, Newell (1982) describe niveles de conocimiento. El conocimiento a priori, por otra parte, representa el juicio o razonamiento anterior a la experiencia. El conocimiento a posteriori expresa el conocimiento derivado de los sentidos.

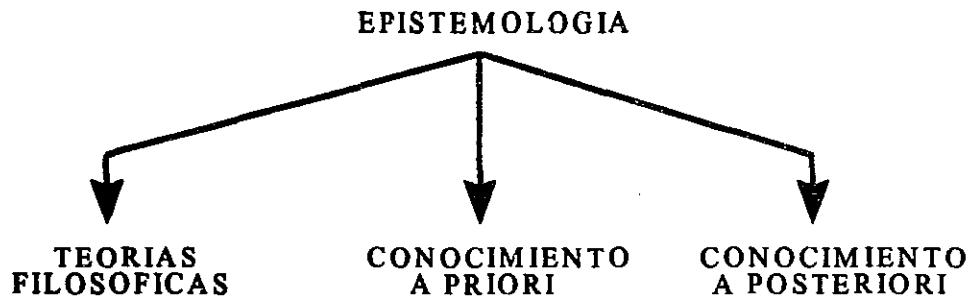


FIGURA 2.1. Categorías de la epistemología

La primera lección de este breviario y las múltiples preguntas que se pueden generar en torno al conocimiento, genera una respuesta humilde: *No Sentirnos Dios* (Vámos, 1996). No se puede dar una respuesta definitiva a semejante problema, para semejante entorno. Sin embargo, se pueden explicar conceptos útiles para la lectura y comprensión de la propuesta.

Niveles en el Análisis del Conocimiento

En el trabajo de Wielinga et al. (1992), se distinguen cinco niveles en el análisis del conocimiento. Estos son:

- a. ***Identificación del conocimiento.*** En este nivel el ingeniero en conocimientos motiva e influencia al experto, para que explique la forma en que realiza las tareas. La información que se obtiene en este nivel es en lenguaje natural.
- b. ***Conceptualización del conocimiento.*** El IC busca una descripción formal del conocimiento en términos de conceptos primitivos y relaciones conceptuales. Se trata de eliminar la redundancia y la ambigüedad de la descripción obtenida en lenguaje natural.
- c. ***Análisis epistemológico.*** El ingeniero en conocimientos trata de descubrir las propiedades estructurales del conocimiento conceptual y las relaciones taxonómicas. Estas se utilizan para organizar y representar el conocimiento. Analizando las propiedades estructurales y las relaciones taxonómicas se puede entender la relación entre el conocimiento especializado y el sentido común, es decir, la facultad que tienen la mayoría de las personas para juzgar razonablemente a las cosas.
- d. ***Análisis lógico.*** En este nivel se analizan las tareas que realiza el EH y el mecanismo de razonamiento lógico que utiliza para resolverlas.
- e. ***Análisis de la implementación.*** En este nivel se llevan a cabo las pruebas.

Alexander et al. (1986), introduce otro nivel en el análisis del conocimiento: *análisis ontológico*. Para estructurar el conocimiento utiliza tres categorías principales: la ontología estática, la ontología dinámica y la ontología epistemológica. La primera define las entidades del área de investigación junto con sus propiedades y relaciones. La segunda define los estados de la solución del problema y la manera en que un estado se transforma en otro. Finalmente, en la ontología epistemológica se describe el conocimiento que guía y restringe las transformaciones de estado.

Tipos de Conocimiento

Para la modelación del conocimiento, el ingeniero en conocimientos debe distinguir entre tres diferentes tipos de conocimiento: *estratégico, de juicio y factual* (Scott et al., 1991).

- a. ***Conocimiento Estratégico.*** El conocimiento estratégico especifica qué hacer. Representa la secuencia de etapas y el flujo de control, que los expertos humanos siguen para efectuar una tarea o resolver un problema.
- b. ***Conocimiento de Juicio.*** El conocimiento de juicio especifica la forma en que el EH usa *hechos e hipótesis* acerca del caso, para concluir nuevos hechos o hipótesis. Es importante que el IC analice el conocimiento de juicio en el contexto de la tarea que se va a resolver. El análisis debe producir información detallada de las etapas de razonamiento que involucra la tarea.
- c. ***Conocimiento Factual.*** El conocimiento factual especifica la información que el EH conoce *a priori* sobre el área de aplicación, así como del caso específico que va a resolver.

Relaciones en el Proceso de Razonamiento

El ingeniero en conocimientos debe analizar el mecanismo de razonamiento que utiliza el experto para resolver sus tareas. Es necesario identificar las conclusiones a las que llega el EH, el conocimiento que utiliza, y las condiciones que existen, para que pueda llegar a esas conclusiones. Este proceso recibe el nombre de *inferencia*. Una inferencia especifica las premisas y las conclusiones a las que se puede llegar, si las premisas o condiciones resultan verdaderas. El razonamiento forma la base de toda actividad mental humana e involucra largas secuencias de inferencias pequeñas e individuales para llegar a una meta o solución. Existen diferentes mecanismos de razonamiento (ver sección 3.4.2.4). Por otra parte, cuando el EH razona establece relaciones en el proceso de razonamiento. Las mismas se describen brevemente a continuación:

- a. ***Taxonomica.*** Una relación de este tipo clasifica un concepto u objeto general en uno de una clase menor o subclase. Por ejemplo: A puede ser clasificado como B, C o D.
- b. ***Estructural.*** Una relación estructural describe cómo un objeto o clase de objetos puede ser descompuesto en partes o subsistemas. Por ejemplo: A es una parte de B. A está compuesto por B, C y D.
- c. ***Topológica.*** Esta describe el arreglo espacial de objetos físicos y las interconexiones entre estos objetos. Por ejemplo: A está próximo a B. A está en contacto con B.
- d. ***Causal.*** Una relación causal describe cómo ciertos estados o acciones inducen otros estados o acciones. Por ejemplo: A causa a B. A es causado por B.
- e. ***Funcional.*** Esta describe las condiciones bajo las cuales ciertas acciones pueden ocurrir, y las reacciones y consecuencias que pueden resultar de esas acciones. Por ejemplo: A posibilita a B. A requiere a B.
- f. ***Cronológica.*** Una relación de este tipo describe la secuencia temporal en la cual los eventos pueden ocurrir. Por ejemplo: A sucede antes que B. A y B suceden al mismo tiempo.

Jerarquía del Conocimiento

Giarratano & Riley (1994) describen una jerarquía del conocimiento (figura 4.2). El *ruido* es el elemento que se encuentra en el nivel más bajo de esta pirámide. Representa a todos aquellos elementos que no son de interés y obscurecen a los datos. Estos, por otra parte, representan a los elementos de interés potencial. El conocimiento es información especializada que transforma los datos en información. El meta-conocimiento representa el conocimiento del conocimiento.



FIGURA 2.2. Jerarquía del conocimiento.

La relación y diferencias entre datos, información y conocimiento se discute frecuentemente. La definición de datos es similar para la mayoría de los autores. Sin embargo, no ocurre lo mismo con información y conocimiento. Los puntos de vista son a menudo diferentes y contradictorios. Gotlieb (1985) por ejemplo define *información* como datos relacionados que pertenecen a un determinado contexto y por esa razón pueden ser interpretados. Mowshowitz (1992) define a la información como la habilidad para decidir y controlar. La pregunta es si se puede definir conocimiento como un tipo especial de información. Van Weven (1996) define al conocimiento como la habilidad para razonar sobre estados específicos de entidades, para poder solucionar un problema de toma de decisiones o de control. Wiig (1994) ejemplifica las diferencias entre información y conocimiento por un párrafo que aparece en un semanario¹. Wiig además señala que la información es específica y particular a una situación dada, mientras el conocimiento es general y se puede aplicar en diferentes situaciones. En esta tesis se concibe al conocimiento² como uno de los elementos más importantes que permite a los humanos resolver una tarea y/o un problema en un dominio específico del conocimiento. Se asume además que existen otros elementos involucrados que afectan de una u otra forma el mecanismo de solución: el razonamiento, la

¹ El párrafo en forma textual menciona lo siguiente: *Once the work has been redefined, the new information technology plays a key role. User-friendly software, personal computer networks, hand-held wireless terminals, and other gadgets are used to move information to the front lines -- the folks on the factory floor or in the customer service department the knowledge they need to act quickly* (Business Week, June 14, 1993 #3323, p.57).

² La diferencia entre información y conocimiento se ilustra a través del siguiente ejemplo. Un grupo de alumnos lee un libro específico para poder resolver un determinado tipo de problema. La información disponible es la misma para todos. Se debería asumir que todos los alumnos van a poder resolver el problema, en la medida que todos tienen acceso a la misma información. Sin embargo, en la práctica y casi sin excepciones seguramente los resultados difieren. Estas diferencias se derivan del conocimiento -entre otros elementos- que manejan los diferentes alumnos.

inteligencia, la intuición, el sentido común, la creatividad, la información que manejan los humanos, el tiempo, etc. Además el conocimiento puede ser concreto o abstracto y frecuentemente es semi-permanente.

2.2. FUENTES DE CONOCIMIENTO

En KAMET una fuente de conocimiento se define como un agente capaz de resolver una tarea y/o solucionar un problema. Una fuente de conocimiento se define también como un agente con el conocimiento necesario para ayudar a resolver una tarea y/o solucionar un problema. Una fuente de conocimiento puede ser un ser humano, un sistema de software, un libro, una biblioteca, etc. Por ejemplo, se considera que una biblioteca es una rica fuente de conocimientos. Esta definición está en clara contradicción con la definición presentada por Breuker & Wielinga (1989). *Ellos definen una fuente de conocimientos como una descripción funcional de un proceso que realiza inferencias. La función solo especifica lo que le ocurrirá a sus argumentos. La salida se origina en base a la entrada.*

En el trabajo se consideró conveniente distinguir entre diferentes fuentes de conocimientos. Se establecen diferencias entre fuentes de conocimientos activas (FCA) y fuentes de conocimientos pasivas (FCP). Las FCA representan a los expertos humanos. Son las que manejan conocimiento de tipo privado, el conocimiento que se manifiesta a través de la experiencia, la habilidad obtenida a través de los años, que permite a estos expertos realizar un diagnóstico con un grado aceptable de plausibilidad aún trabajando con información inexacta y/o incompleta. Dentro de las FCA se distinguen además fuentes de conocimiento activas dedicadas (FCAD) y fuentes de conocimiento activas de consulta (FCAC). Las fuentes de conocimientos activas dedicadas representan a los expertos con los que el ingeniero en conocimientos tiene una gran interacción. Son los EH que están directamente ligados al proyecto. Las fuentes de conocimientos activas de consulta representan a los especialistas que contribuyen al proyecto aportando ideas, su experiencia, sugiriendo alternativas; pero no están dedicados totalmente al proyecto.

Las fuente de conocimientos pasivas responden a una definición pasiva y estática del conocimiento. Pasiva en el sentido que el conocimiento es de dominio público. Este se manifiesta en libros de texto, artículos y/o en cualquier material de tipo escrito. Estática en el sentido que los hechos se presentan en forma neutral. Es decir, sin analizar los problemas que se pueden resolver haciendo uso de este conocimiento.

2.3. ADQUISICION DEL CONOCIMIENTO

Buchanan & Shortliffe (1984) definen la adquisición del conocimiento como el proceso de adquirir, transferir y transformar la expertiz³ -necesaria para resolver un problema- de alguna fuente de conocimiento a un programa. La adquisición del conocimiento se observa como una actividad de elicitación del conocimiento de expertos humanos. Es claro que esta observación fue realizada muchos años atrás. En KAMET se considera que es conveniente trabajar con múltiples fuentes de conocimientos. Se distingue entre fuentes de conocimientos activas (expertos humanos) y fuentes de conocimientos pasivas (libros de texto, artículos, base de datos, bibliotecas, etc.). Generalmente, un solo experto humano no tiene todo el conocimiento, la experiencia y los recursos, en forma individual, para poder resolver ciertos problemas (Durfée et al., 1989).

La adquisición, transferencia y transformación del conocimiento es llevada a cabo por un especialista conocido con el nombre de *ingeniero en conocimientos*. La adquisición y transferencia del conocimiento puede ser automática, semiautomática, o manual. La transformación final en la base de conocimientos es el último paso de un proceso complejo que involucra varias actividades: identificación del problema a resolver, conceptualización del mismo, familiarización del dominio del conocimiento, elicitación del conocimiento, modelación del conocimiento, implementación, etc.

En los últimos años se han observado avances notables en el crecimiento de capacidades para la construcción de sistemas basados en conocimientos. Sin embargo, pocos de estos avances se han producido en adquisición del conocimiento. La AC aún representa el principal problema que obstaculiza un buen ciclo de vida en el desarrollo de sistemas basados en conocimientos.

Actualmente la adquisición del conocimiento se observa más como una actividad de modelación, que como una actividad de extracción, elicitación o minería de expertos humanos. Esto elimina muchos de los problemas psicológicos y prácticos asociados tradicionalmente a la adquisición del conocimiento.

2.4. SISTEMAS BASADOS EN CONOCIMIENTOS

Los SBC son programas de computadora diseñados para resolver problemas que requieren generalmente de expertos humanos para su solución. Se entiende por EH a la persona que tiene conocimientos profundos de un cierto tema (por lo general estrecho o específico, de ahí su expertiz o destreza), y tiene experiencia en resolver con ellos problemas útiles; como por ejemplo: diagnosticar enfermedades en el caso del médico, diseñar catalizadores en el caso del químico, diseñar un puente en el caso de un ingeniero civil, o localizar un mineral en una determinada zona geográfica en el caso de un geólogo.

³ No existe en nuestra lengua tal palabra. Esta sin embargo se podría derivar de la palabra *expertise* de la lengua inglesa. La expertiz es lo que sin duda manejan los expertos humanos. Esta involucra diferentes conceptos: sapiencia, pericia, experiencia, conocimiento, sentido común, sagacidad, mesura, juicio, etc.

La mayoría de las computadoras ejecutan hoy en día una gran cantidad de programas que realizan decisiones lógicas, sin embargo los programas utilizan *poca cantidad de conocimiento*. Estos programas están divididos en dos partes: *algoritmos* y *datos*. Los algoritmos especifican los pasos para resolver un problema específico, los datos caracterizan los parámetros del problema en particular. Los expertos humanos, por otra parte, no siguen este modelo para resolver un problema. Utilizan fragmentos de conocimiento, su experiencia, diferentes mecanismos de razonamiento, sentido común, intuición, etc., para alcanzar la solución de un problema en particular. Los SBC representan estos fragmentos de experiencia y conocimiento en una base de conocimientos (BC), que posteriormente es accesada para razonar sobre un problema en particular. Como consecuencia de esto, los SBC difieren de los programas convencionales en su arquitectura, en la forma en que se incorpora el conocimiento, en la manera interactiva en que se ejecutan y en la impresión que crean en los usuarios que lo utilizan. Generalmente muestran un comportamiento similar al de un EH.

Los sistemas basados en conocimientos tienen capacidad para resolver problemas muy difíciles, tan bien o mejor que un experto humano, razonar heurísticamente utilizando reglas que los EH consideran eficaces, interactuar eficazmente y en lenguaje natural con las personas, manipular expresiones simbólicas y razonar sobre ellas, funcionar con datos erróneos y reglas inexactas, contemplar múltiples hipótesis alternativas, explicar por qué plantean sus preguntas cuando están intentando resolver un problema, y justificar sus conclusiones.

Técnicas utilizadas en SBC

En la figura 2.3 se observa una pirámide que muestra las técnicas utilizadas en los sistemas basados en conocimientos.

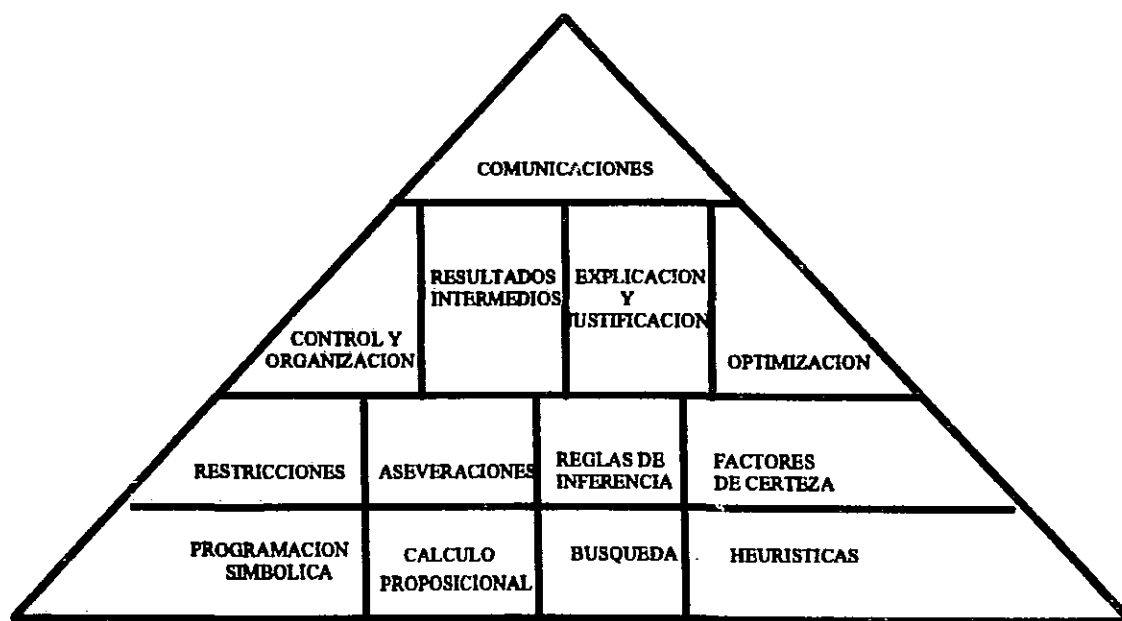


Figura 2.3. Técnicas utilizadas en SBC

Capítulo 2. Antecedentes.

El primer nivel consiste de técnicas que fundamentan todas las aplicaciones. Los SBC en su razonamiento generan una serie de soluciones candidatas y posteriormente las evalúan. Generalmente la solución implica la aplicación de reglas heurísticas al conjunto de datos y conocimiento, con el objeto de deducir consecuencias lógicas o probables. Posteriormente se verifica si estas consecuencias satisfacen la meta planteada. Estas acciones corresponden al mecanismo básico de inferencia y prueba del cálculo proposicional. Aunque la mayoría de los SBC no cuentan con un programa lógico formal para llevar a cabo estas acciones, las actividades que realizan alcanzan el mismo efecto.

El segundo nivel muestra los mecanismos más conocidos para representar el conocimiento: *restricciones, aseveraciones, reglas de inferencia y factores de certeza*. El tercer nivel muestra las técnicas de *organización y control, resultados intermedios, explicación y justificación, y optimización*. Un SBC organiza y controla sus actividades de acuerdo a los principios involucrados en su diseño arquitectónico. Los resultados intermedios son útiles en la mayoría de los sistemas basados en conocimientos. Por otra parte, un SBC cuando alcanza un resultado debe explicar y justificar el razonamiento utilizado para alcanzar el mismo. Por último, por medio de la optimización se generan las soluciones candidatas en un orden eficiente, se compilan las reglas simbólicas de manera efectiva, se trata de evitar redundancia computacional, etc. En el último nivel de la pirámide se encuentran las *comunicaciones*. Un SBC se puede comunicar con un ingeniero en conocimientos, con un experto humano, con el usuario final, con una base de datos, y con otros componentes de computación. El sistema tiene que estar preparado para establecer diferentes tipos de comunicación.

Componentes de un SBC

En la figura 2.4 se muestran los componentes de un sistema basado en conocimientos.

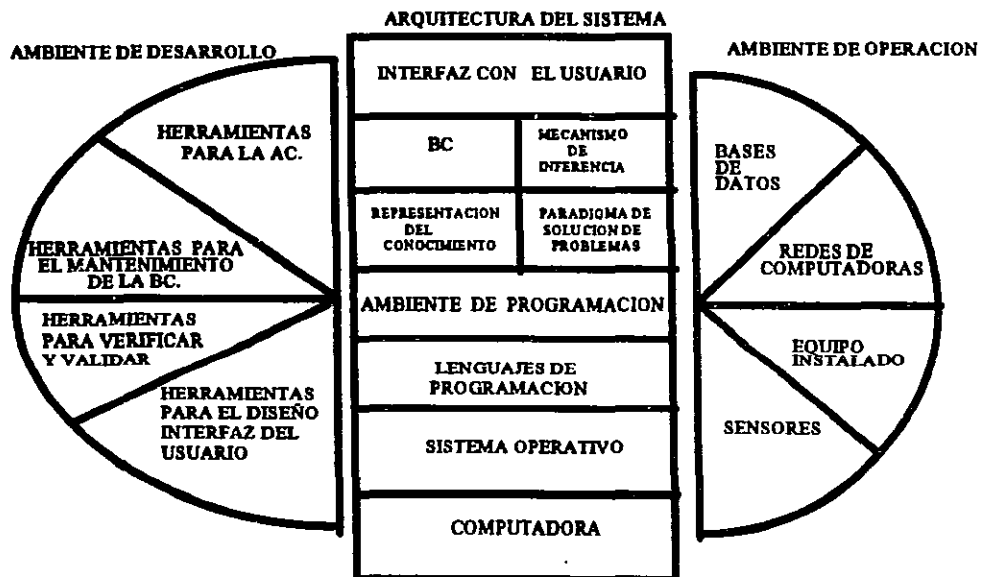


Figura 2.4 Componentes de un SBC

En la parte izquierda de la figura se muestran los componentes relacionados con la adquisición del conocimiento. Esta representa la etapa crítica y fundamental para la construcción del SBC. En el centro, se observan los componentes asociados con la arquitectura del sistema. La máquina o motor de inferencia es el mecanismo de control del SBC. Es totalmente independiente del conocimiento que maneja y del problema específico que resuelve. La base de conocimientos, por otra parte, está constituida por el conocimiento específico y procedimental acerca de la clase de problemas en los que el sistema es experto. El motor de inferencia y la base de conocimientos son los componentes principales de la arquitectura del SBC. Finalmente, en la parte derecha se observan los componentes relacionados al medio ambiente de operación, bases de datos, redes de computadoras, sensores, equipos auxiliares, etc.

Aplicaciones de los SBC

Se presentan algunas áreas que se consideran importantes para la aplicación de SBC:

- a. **Medicina.** Esta es un área fundamental para la aplicación de SBC, principalmente porque la medicina es una ciencia donde la experiencia es fundamental, debido a lo complejo que resulta el comportamiento del cuerpo humano; los conocimientos son muy extensos, anualmente se publican alrededor de 600,000 artículos sobre biomedicina; existe un gran número de bases de datos médicas; y además es frecuente el uso de datos inexactos e incompletos.
- b. **Finanzas y gestión.** En esta área se utilizan los SBC para análisis de mercado, análisis de riesgos y tasación de seguros, aplicación de impuestos y tasas, concesión de tarjetas de crédito, planes de inversión de capitales, previsión de fluctuaciones en el mercado de divisas, etc.
- c. **Industria.** Muchos SBC se utilizan en la industria para lograr la comunicación con dispositivos sensores, bases de datos, dispositivos de mando, accionamiento, etc., y todo ello en tiempo real. Los SBC se aplican para el diagnóstico de control de calidad, detección de fallas y actuación en casos de alarma y emergencia, configuración de equipos y sistemas bajo demanda, etc.
- d. **Electrónica, informática y telecomunicaciones.** En esta área se utilizan para el diseño de circuitos de alto grado de integración, sistemas inteligentes de autodiagnóstico, configuración de equipos y sistemas, control de las redes de comunicación, programación automática, ajuste de equipos y sistemas, etc.
- e. **Militar.** En cuestiones militares los SBC se utilizan para el guiado de vehículos y proyectiles de forma semiautomática, planificación estratégica y de misiones tácticas en función de la topografía del terreno y las defensas del enemigo, reconocimiento automático de blancos y valoración de los mismos, reconocimiento de los planes del enemigo, etc.
- f. **Aeronáutica.** En esta área los SBC se utilizan para el control de la posición de los satélites artificiales, interpretación de imágenes por satélite, control del tráfico aéreo, etc.
- g. **Agricultura.** En agricultura se utilizan para el diagnóstico y tratamiento de tierras, control de enfermedades, creación de nuevos herbicidas, etc.
- h. **Transporte.** La elaboración de horarios, configuración de asientos en los vuelos de pasajeros, elección de rutas, y asignación de puertas de embarque en aeropuertos en tiempo real, son algunas de las aplicaciones de SBC en esta área.

El hombre es un ser espiritual y sensible. Por lo tanto, se pueden distinguir en él un conocimiento espiritual y un conocimiento sensible. La fuente del primero es la razón, la del último la experiencia. De qué fuente saca principalmente sus contenidos la conciencia cognoscente?. Esa es la cuestión del origen del conocimiento.

CAPITULO 3

La Metodología para la Adquisición del Conocimiento

3

En este capítulo se presenta la metodología para la adquisición del conocimiento de múltiples fuentes de conocimiento. Se presentan las diferentes etapas, los pasos que constituyen las mismas, así como las actividades que forman parte de éstas. La idea detrás de la definición de etapas, pasos y actividades, es la de poder alcanzar el resultado final. Esta, como se podrá observar más adelante, es una metodología orientada a resultados. Las etapas, pero principalmente los pasos y actividades que constituyen las mismas, representan sólo una guía para el ingeniero en conocimientos o el director del proyecto. No se deben considerar como una secuencia inflexible que se debe seguir para todo proyecto. Además, se presenta en este capítulo el ciclo de vida de la metodología y las características más importantes del mismo.

Cabe señalar, que avances y diferentes versiones de lo expuesto en este capítulo, fueron presentados en el journal *Expert System with Applications* (Cairó, 1998), the Fourth World Congress on Expert Systems WCES-98 (Cairó, 1998), the European Conference on Expert Systems EXPERSYS-97 (Cairó, 1997), y the Fifteenth International Joint Conference on Artificial Intelligence – IJCAI-97 (Cairó & Loyola, 1997). Versiones tempranas de la metodología fueron presentadas también en the Sixth International Conference on Software Engineering and Knowledge Engineering SEKE (Cairó et al., 1994), y the 2nd. Pacific Rim International Conference on Artificial Intelligence (Cairó et al., 1992a).

3.1. EL MODELO DE CICLO DE VIDA DE KAMET

En biología, un ciclo de vida (CV) define las fases en la vida de un animal. En el mundo de ingeniería de software e ingeniería del conocimiento se utiliza la expresión *ciclo de vida* para describir las principales fases en la vida de un software o la de una metodología (Wells, 1993). El ciclo de vida de KAMET proporciona una estructura para manejar tanto la fase de adquisición del conocimiento, como el proceso de modelación del conocimiento. El método también ayuda a establecer y facilitar formas para caracterizar y organizar el conocimiento adquirido de múltiples fuentes de conocimiento, implementar las acciones necesarias, revisar la situación del proyecto, identificar riesgos de no alcanzar los objetivos propuestos, monitorear los avances del proyecto, y controlar la calidad del mismo.

El ciclo de vida de la metodología representa una síntesis de un grupo de ideas sobre ingeniería de software, ingeniería del conocimiento, y experiencias en la construcción de sistemas basados en conocimientos. Sin embargo, es necesario enfatizar que el desarrollo de KAMET está inspirado principalmente en dos ideas: el modelo de espiral de Boehm (Boehm, 1988; Boehm, 1991) y en la

esencia del procesamiento cooperativo. Ambas ideas están completamente relacionadas con el principio de reducción de riesgos. Este es de fundamental importancia en cualquier manejo de proyecto con KAMET. El ciclo de vida tiene características interesantes. Las más importantes se describen a continuación.

Estructurado por Fases

El ciclo de vida de KAMET está estructurado por fases. Esta visión corresponde al tradicional punto de vista de ingeniería de software¹. KAMET no tiene la flexibilidad del ciclo de vida de CommonKADS que está estructurado cíclicamente. Sin embargo, la modelación es considerada de fundamental importancia en KAMET. Se definen modelos y se redefinen a éstos en las siguientes etapas. Esto permite disminuir los riesgos y mejorar y fortalecer a los modelos. Esta es la principal diferencia con el ciclo de vida clásico de ingeniería de software.

Manejo Orientado a Resultados

El ciclo de vida se enfoca en el modelo final. Este debe representar el conocimiento adquirido de múltiples fuentes de conocimiento en un dominio específico del conocimiento. El manejo del proyecto orientado a resultados no significa que no podemos definir etapas, pasos y actividades. Sin embargo, éstas se definen solo como una guía para el director del proyecto. El énfasis detrás de esta serie de definiciones está en el resultado final: *el modelo final*. Las diferentes etapas, tanto como las actividades asociadas a cada una de éstas, pueden variar o no llevarse a cabo de acuerdo al tipo de aplicación y/o a la extensión y complejidad del proyecto. Debe quedar claro que las etapas, pero principalmente los pasos y actividades, no representan una rígida secuencia que se debe seguir para todo proyecto.

Manejo Orientado por Riesgos

El desarrollo de la metodología fue inspirado principalmente por dos grandes ideas. La primera está relacionado al modelo de espiral de Boehm (Boehm, 1988; Boehm, 1991). En este se observa el manejo del proyecto como un ciclo de revisar la situación del proyecto, identificar y evaluar riesgos de no alcanzar los objetivos propuestos, planear para aquellos riesgos y monitorear los avances del proyecto. La segunda idea está basada en la esencia del proceso cooperativo. Este principio señala que una sociedad de expertos puede resolver problemas de mayor complejidad, y complementar la capacidad individual principalmente en dominios donde el conocimiento es extensivo, inexacto, y/o incompleto. También se reduce el tiempo de solución de tareas individuales (Cairó et al., 1994). Ambas ideas están directamente relacionadas con el principio de reducción de riesgos.

¹ El tradicional punto de vista corresponde a dos de las metodologías que se consideran líderes en ingeniería de software: *el análisis y diseño estructurado* y *la técnica de modelación de objetos*. Para una discusión apropiada se recomienda al lector consultar la siguiente bibliografía (Yourdon, 1989; Rumbaugh et al., 1991).

Productos Intermedios

El ciclo de vida de KAMET está estructurado por fases. Consecuentemente, este produce productos intermedios. Un producto puede ser modelos, documentos, o ambos.

Escalable

El ciclo de vida de la metodología es escalable. Se puede ajustar a proyectos de diferente extensión y complejidad (Cairó et al., 1998; Cairó et al., 1997; Cairó & Villarreal, 1996; Guardati et al., 1995).

Extensible

Actualmente casi el 90% de los desarrollos son extensiones. Esta es una importante característica que debe ser tomada en cuenta por todos aquellos que trabajan en metodologías o en desarrollos de software. Como Brooks (1995) señala: *The last woe, and sometimes the last straw, is that the product over which one has labored so long appears to be obsolete upon or before completion. Already colleagues are in hot pursuit of new and better ideas.* La extensibilidad es una importante característica de KAMET.

Control de Calidad

Esta es una característica importante para cualquier desarrollo de proyecto con KAMET. Se han definido pasos en cada una de las etapas específicamente para controlar la calidad en una forma apropiada. Estos controles permiten asegurar el mínimo de sorpresas a lo largo del desarrollo. El director del proyecto tiene la responsabilidad de realizar estas actividades en una forma apropiada. El debe controlar el proyecto y mantenerlo de acuerdo a sus planes y predicciones. El director del proyecto debe considerar también cuando cada paso se debe considerar completo².

3.2. LAS ETAPAS DE KAMET

KAMET es una metodología de modelación. En realidad, se sugiere a lo largo del trabajo que la adquisición del conocimiento se debe considerar más como una actividad explícita de modelación, que como una actividad de elicitación, extracción, o minería. Esta consideración elimina muchos de los problemas psicológicos y prácticos asociados a la adquisición del conocimiento, si ésta es vista como una actividad de extracción de conocimiento de expertos humanos (Breuker, 1987). La idea, de hecho, no es nueva.

² Este punto aún no se puede considerar resuelto. El mismo es muy difícil de solucionar por lo que éste involucra. Una actividad se puede considerar confiable y válida si se aplican las técnicas apropiadas, pero pueden estar incompletas. La incompletitud se puede presentar por diferentes razones. En general, la retroalimentación, el uso de técnicas multidimensionales, y el trabajo colaborativo, generalmente ayudan para lograr la completitud. En este momento, se está explorando la posibilidad de introducir estados como una forma de controlar mejor las diferentes actividades del proyecto.

KAMET está basada en modelos y fue diseñada específicamente para manejar la adquisición del conocimiento de múltiples fuentes de conocimiento. El método proporciona un fuerte mecanismo para lograr la adquisición del conocimiento de múltiples fuentes de conocimiento en una forma incremental, y en un ambiente de cooperación. El número y tipo de etapas, las entradas y salidas para cada una de ellas, los pasos que constituyen las etapas, también como las actividades asociadas a cada uno de éstos, es el resultado de un cuidadoso proceso de investigación y pruebas posteriores. Sin embargo, como ya fue mencionado, etapas, pasos y actividades, se definen solamente como una guía para el director del proyecto. Estas no representan una secuencia inflexible que se debe seguir para todo proyecto.

Respecto al monitoreo de los avances del proyecto y al control de calidad, se han definido diferentes pasos en cada una de las etapas específicamente para desarrollar estas actividades en una forma apropiada. Casi el 30% de los pasos de la segunda etapa, 40% de los pasos de la segunda etapa, y 50% de los pasos de la última etapa fueron definidos precisamente para revisar la situación del proyecto, identificar riesgos de no alcanzar los objetivos propuestos, monitorear los avances del proyecto, y realizar el control de calidad. Estos controles permiten asegurar el mínimo de sorpresas a lo largo del desarrollo del proyecto. El director del proyecto tiene la responsabilidad de realizar estas actividades en una forma apropiada. El debe controlar el proyecto y mantenerlo de acuerdo a sus planes y predicciones. El director del proyecto debe considerar también cuando cada paso se debe considerar completo.

Se asume además que una compañía y/o un grupo de patrocinadores han decidido dedicar esfuerzo en la construcción de un SBC, como una alternativa para solucionar un problema actual complementar una necesidad corriente. Se debe saber además: *qué problema la organización intentará resolver, que problema los patrocinadores desean patrocinar, que necesidades en realidad la compañía y/o el grupo de patrocinadores trata de satisfacer.* Este el punto de partida para que KAMET sea aplicable.

La metodología está compuesta por cuatro etapas: *planeación estratégica del proyecto, construcción del modelo inicial, construcción del modelo retroalimentado y construcción del modelo final.* Se presenta a continuación la descripción de las diferentes etapas.

3.3. PLANEACION ESTRATEGICA DEL PROYECTO

La primer etapa, *planeación estratégica del proyecto*, es vital para el desarrollo del mismo. El director del proyecto³ y los cuatro grupos involucrados, es decir:

³ El rol del director del proyecto generalmente es definida en término de las funciones que debe cumplir en el proyecto, las cuales difieren de otras funciones que otros miembros del grupo deben de cumplir. Una lista extensiva de actividades que puede desarrollar el director del proyecto se pueden encontrar en Berkeley et al. (1990).

- a. El grupo de IC, quienes son responsables de la implementación del SBC,
- b. El grupo de EH, quienes proporcionan el conocimiento,
- c. El grupo de representantes de los usuarios potenciales (UP), y
- d. El grupo de los patrocinadores (PA), quienes proporcionan los fondos,

deben estar completamente de acuerdo en la definición del proyecto para garantizar el éxito del mismo. Si los grupos tienen experiencia en proyectos de este tipo, la planeación estratégica puede resultar una tarea simple. Los participantes aportan ideas, sugieren alternativas, contestan preguntas del director del proyecto. Sin embargo, si los grupos sólo tienen ideas vagas de lo que es un SBC y lo que el mismo puede realizar, la definición del proyecto puede resultar una tarea compleja (Scott et al., 1991). En estos casos, conviene que el director del proyecto primeramente explique en forma precisa a los participantes: *¿Qué es un SBC?*, *¿Cómo funciona un SBC?*, *¿En qué consiste la AC?*, y *¿Cuáles son los roles de los integrantes de los grupos en el proyecto?*

El director del proyecto debe coordinar a los diferentes grupos y lograr un mutuo acuerdo entre los participantes sobre la definición del proyecto. Debe obtener información de todos los grupos, no puede ignorar la opinión de ningún participante. Debe considerar además, alguna medida de control para manejar el flujo de información que se presenta generalmente en discusiones abiertas. Comentarios tangenciales, interrupciones o malentendidos, se pueden esperar en forma continua. Algunos participantes pueden contribuir además a la ineffectividad del procesamiento de la información, si tienen hábitos pobres para escuchar, ansiedad por comunicarse, debilidad para elaborar ideas, o si intentan dominar la reunión. Otros participantes se pueden sentir inhibidos al tener que presentar sus ideas u opiniones ante otros miembros que consideran de mayor jerarquía, incrementando esta ineffectividad. Los grupos, por otra parte, pueden tener diferentes intereses, y la interacción política entre los mismos puede dificultar la cooperación. Es conveniente, por lo tanto, que el director del proyecto conozca de técnicas de control verbal y no verbal que le permitan *manejar* la reunión en forma correcta. Los pasos que forman la primer etapa son los siguientes:

1. Definir los objetivos del proyecto.
2. Definir los alcances y límites del proyecto.
3. Identificar a los usuarios potenciales del proyecto.
4. Precisar beneficios potenciales del proyecto.
5. Dividir el dominio del conocimiento en subdominios o áreas de trabajo.
6. Identificar a las FC que intervendrán en el proyecto.
7. Definir mecanismos de verificación y validación de los modelos.
8. Elaborar un diccionario del proyecto.
9. Especificar otros recursos necesarios para realizar la AC.
10. Definir las técnicas para realizar la elicitación del conocimiento.
11. Estimar el tiempo necesario para completar la fase de AC.
12. Estimar el costo necesario para realizar la fase de AC.
13. Especificar la documentación del proyecto.

Se presenta a continuación una descripción de los diferentes pasos.

3.3.1. LOS OBJETIVOS DEL PROYECTO

Los objetivos del proyecto es uno de los primeros puntos que se deben definir en esta etapa, por medio de entrevistas grupales. Los EH, los PA y los UP pueden tener diferentes puntos de vista sobre lo que el SBC puede y debe hacer. Esto lógicamente, puede afectar y dificultar el procesamiento de la información. El director del proyecto debe coordinar a los grupos, animar a los participantes a considerar y establecer diferentes metas sobre el proyecto, y finalmente lograr el consenso entre los participantes. Los objetivos del proyecto se deben definir cuidadosamente. Estudios realizados por DeMarco (1982) muestran que muchos proyectos fallan porque no cumplen las expectativas originales. Muchas veces estas están infladas o son irrazonables.

El director del proyecto debe planear correctamente cada entrevista y previo a las mismas debe entregar a los participantes un documento denominado *organización de la reunión*⁴ en el que especifique y describa los puntos que se tratarán en la sesión. En cada entrevista, el director del proyecto debe introducir y presentar el tema; motivar y persuadir a los integrantes a considerar las metas del proyecto; estimular el intercambio de opiniones, conocimiento y experiencias a través de lluvia de ideas; evaluar y orientar; mantener la discusión dentro del marco previsto; evitar conflictos u hostilidades entre los participantes; guiar hacia los objetivos planteados; lograr el consenso entre los integrantes del grupo; y promover y establecer conclusiones. Debe lograr que el grupo sea flexible, tenga los objetivos claros, y siempre exista una atmósfera conducente a la participación. Además, en la primera sesión en la que se discutirán los objetivos del proyecto, es conveniente que presente una tabla (tabla 3.1) que muestre los objetivos generales de un SBC considerando diferentes factores (Scott et al., 1991).

⁴ **Organización de la reunión:** El documento debe incluir los siguientes puntos:

- a. *El propósito y objetivos generales de la entrevista.* Escribir brevemente el propósito de la reunión. Especificar, claramente, las expectativas de la misma.
- b. *El tipo o estilo de la reunión.* Seleccionar el tipo o estilo de reunión más apropiado para alcanzar sus propósitos. Las reuniones más comunes son consultivas, informativas y deliberativas.
- c. *Quién participará de la reunión.* Los participantes deben ser invitados si tienen responsabilidad directa o autoridad sobre el tópico de discusión, tienen formación necesaria útil para tomar una buena decisión, y/o tienen responsabilidad en la solución o en la implementación de las recomendaciones del grupo. Puede haber participantes esenciales y opcionales. Los esenciales son aquellos que pueden contribuir a la reunión. Los opcionales son aquellos que pueden ser invitados porque necesitan saber y/o aprender algo.
- d. *El tiempo, lugar y duración de la reunión.* Un aspecto crítico en la planeación de una entrevista es la selección del lugar, la hora y la duración de la misma. Los estudios demuestran que hay buenas razones para realizar las reuniones a las 9:00 a.m. o más temprano en la mañana, la mayoría de los individuos, supuestamente, son más creativos durante este periodo. Otros buenos horarios según estudios, son 10:30 a.m. y 3.30 p.m. La duración de la reunión no debe exceder de dos horas, la eficiencia de los participantes puede disminuir luego de este periodo.
- e. *Una agenda tentativa.* La agenda debe ser preparada teniendo en cuenta el tópico en cuestión. Es recomendable que la misma tenga como máximo 4 o 5 puntos. Se presenta una agenda estándar posteriormente.
- f. *Quién registrará los resultados.* Los acuerdos y/o decisiones importantes se deben registrar y luego distribuir en una minuta. Es importante identificar a un miembro del grupo apto para realizar esta labor.

Los participantes, por otra parte, conociendo los objetivos generales de un SBC, tendrán la posibilidad de escuchar las diferentes propuestas del resto de los integrantes y desarrollar una visión más clara y sólida sobre lo que el SBC debe hacer.

TABLA 3.1 Objetivos generales de un SBC

FACTOR	OBJETIVO
<i>Satisfacción de los Clientes</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Mejorar la calidad de los servicios. • Reducir el tiempo para ofrecer los servicios. • Reducir el costo de los servicios.
<i>Utilización del Staff</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Aumentar el tiempo de los EH para actividades más importantes. • Reducir el tiempo utilizado para la preparación de nuevos EH. • Permitir tomar una decisión en menos tiempo, incluso considerando más alternativas. • Permitir que individuos con menos experiencia puedan tomar a su cargo responsabilidades mayores. • Capturar los conocimientos y experiencias de los mejores EH.
<i>Mejora de Actividades</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Mejorar el desempeño de las actividades. • Incrementar la adherencia a ciertas políticas organizacionales.
<i>Mejora de Ingresos</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Generar ingresos adicionales por la venta del SBC o los resultados producidos por éste. • Reducir los costos para la producción de servicios. • Reducir el tiempo para la producción de servicios. • Incrementar la cantidad y la calidad de los servicios.

3.3.2. LOS ALCANCES Y LIMITES DEL PROYECTO

Los alcances y límites del proyecto es otro de los pasos importantes que se deben discutir en la fase inicial de la primer etapa. Después que el problema se ha racionalizado y los objetivos han sido definidos, el director del proyecto debe organizar una discusión coherente, en la que participen todos los grupos para definir este punto. El director del proyecto debe estar atento a todos los detalles que se presenten en las discusiones.

Por otra parte, en forma conjunta con los expertos humanos e ingenieros en conocimientos, el director del proyecto debe elaborar un documento denominado requisitos de software⁵

⁵ Documento de los Requisitos de Software: Sommerville (Sommerville, 1996) sugiere que el documento incluya los siguientes puntos:

- a. *Introducción*. Se debe especificar las necesidades del SBC y describir brevemente sus funciones. Se debe además explicar la estructura del resto del documento y describir las notaciones utilizadas.
- b. *Hardware*. Se debe describir a éste, considerando las configuraciones mínimas y óptimas del mismo.
- c. *El Modelo Conceptual*. Se debe presentar una visión de muy alto nivel del sistema que muestra los principales servicios proporcionados por el software y las relaciones de unos con otros.

Los participantes, por otra parte, conociendo los objetivos generales de un SBC, tendrán la posibilidad de escuchar las diferentes propuestas del resto de los integrantes y desarrollar una visión más clara y sólida sobre lo que el SBC debe hacer.

TABLA 3.1 Objetivos generales de un SBC

FACTOR	OBJETIVO
<i>Satisfacción de los Clientes</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Mejorar la calidad de los servicios. • Reducir el tiempo para ofrecer los servicios. • Reducir el costo de los servicios.
<i>Utilización del Staff</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Aumentar el tiempo de los EH para actividades más importantes. • Reducir el tiempo utilizado para la preparación de nuevos EH. • Permitir tomar una decisión en menos tiempo, incluso considerando más alternativas. • Permitir que individuos con menos experiencia puedan tomar a su cargo responsabilidades mayores. • Capturar los conocimientos y experiencias de los mejores EH.
<i>Mejora de Actividades</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Mejorar el desempeño de las actividades. • Incrementar la adherencia a ciertas políticas organizacionales.
<i>Mejora de Ingresos</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Generar ingresos adicionales por la venta del SBC o los resultados producidos por éste. • Reducir los costos para la producción de servicios. • Reducir el tiempo para la producción de servicios. • Incrementar la cantidad y la calidad de los servicios.

3.3.2. LOS ALCANCES Y LIMITES DEL PROYECTO

Los alcances y límites del proyecto es otro de los pasos importantes que se deben discutir en la fase inicial de la primer etapa. Después que el problema se ha racionalizado y los objetivos han sido definidos, el director del proyecto debe organizar una discusión coherente, en la que participen todos los grupos para definir este punto. El director del proyecto debe estar atento a todos los detalles que se presenten en las discusiones.

Por otra parte, en forma conjunta con los expertos humanos e ingenieros en conocimientos, el director del proyecto debe elaborar un documento denominado requisitos de software⁵

⁵ Documento de los Requisitos de Software: Sommerville (Sommerville, 1996) sugiere que el documento incluya los siguientes puntos:

- a. *Introducción*. Se debe especificar las necesidades del SBC y describir brevemente sus funciones. Se debe además explicar la estructura del resto del documento y describir las notaciones utilizadas.
- b. *Hardware*. Se debe describir a éste, considerando las configuraciones mínimas y óptimas del mismo.
- c. *El Modelo Conceptual*. Se debe presentar una visión de muy alto nivel del sistema que muestra los principales servicios proporcionados por el software y las relaciones de unos con otros.

Capítulo 3. La Metodología para la Adquisición del Conocimiento.

(Sommerville, 1996) para establecer los alcances y límites al espacio de soluciones⁶ del problema. Este documento se debe distribuir previo a las entrevistas a todos los posibles participantes. La acción contribuirá significativamente a la preparación de los participantes, y a la agilidad y éxito de las sesiones. El documento debe especificar correctamente *todo* lo que el SBC debe hacer. Los requisitos deben estar completos y ser consistentes. Completos, en el sentido que todos los servicios requeridos por el usuario se deben considerar. Consistentes, en el sentido que ningún requisito debe contradecir a otro. Sin embargo, se debe enfatizar que en términos prácticos y para proyectos extensos y/o complejos es casi imposible definir requisitos completos y consistentes a los inicios del proyecto. Los requisitos frecuentemente cambian durante el ciclo de vida de un proyecto. KAMET, sin embargo, de acuerdo a nuestra experiencia en construcción de SBC, tienen suficiente flexibilidad como para ajustarse a estos cambios.

Finalmente, puede resultar de gran interés en esta sección detectar factores en el medio ambiente en el cual la organización, donde se instalará el SBC, opera. Como De Hoog et al. (1996) señala, estos factores pueden influenciar tanto los impactos del SBC en la organización, como la oportunidades para aplicar tecnología basada en SBC.

3.3.3. LOS USUARIOS POTENCIALES DEL SBC

En este punto se debe identificar a los usuarios potenciales del SBC. Estos, no son sólo aquellos que interactúan directamente con el sistema, sino también los que se benefician con los resultados proporcionados por éste. En la práctica, la definición de los objetivos, alcances y límites de un SBC, no debe estar separada de la identificación de los usuarios. El grado de aceptación y uso de un SBC por parte de éstos, es lo que determina realmente su efectividad. Si los usuarios no perciben un beneficio colectivo en el uso del SBC probablemente no lo utilizarán. Si este fuera el caso, es conveniente evaluar y redefinir nuevamente los objetivos, alcances y límites del proyecto, para lograr la aceptación plena del sistema por parte de los UP.

d. *Requisitos Funcionales.* Se deben describir los servicios proporcionados al usuario. Los requisitos funcionales deben ser completos y consistentes. En la práctica y para sistemas grandes y complejos, es casi imposible lograr que los requisitos sean consistentes y completos en la fase inicial del proyecto. En la medida que se descubren nuevos problemas durante esta etapa y/o en las siguientes, el documento se debe modificar.

e. *Requisitos No Funcionales.* Estos requisitos establecen las restricciones bajo las cuales operará el proyecto. Se deben expresar y relacionar con los requisitos funcionales. Un requisito no funcional de un sistema es una restricción u obligación impuesta al servicio de éste. Es recomendable que se analicen las siguientes categorías de requisitos no funcionales: restricciones de medio ambiente, restricciones técnicas y restricciones políticas -estándares, leyes y otras políticas y procedimientos-.

f. *Información para Mantenimiento.* Se deben describir las suposiciones fundamentales sobre las cuales se basa el sistema y los cambios anticipados que se podrían realizar por variaciones en la evolución del hardware o necesidades del usuario.

g. *Confirmación de los Requisitos.* Este es un proceso de cuatro pasos: mostrar la consistencia de los requisitos, justificar que los requisitos están completos, demostrar que los requisitos son realistas y probar que las necesidades de los usuarios son válidas.

⁶ Hay diferentes líneas de investigación en inteligencia artificial en las cuales la teorías fundamentales sobre solución de problemas en SBC son estudiadas. Para una completa discusión, se aconseja al lector revisar la siguiente bibliografía McDermott (1988), Chandrasekaran et al., (1992), y Clancey (1992).

El ingeniero en conocimientos debe conocer quiénes usarán los resultados y/o ingresarán datos o información al SBC. Posterior a la identificación, debe examinar⁷ a los mismos. Finalmente, debe analizar los resultados obtenidos. Estos deben permitir visualizar si los usuarios están dispuestos a utilizar el SBC, los beneficios que esperan del mismo, las modificaciones que serán necesarias realizar a las responsabilidades de los usuarios para lograr que el SBC sea factible, etc.

3.3.4. LOS BENEFICIOS POTENCIALES DEL PROYECTO

El director del proyecto, en forma conjunta con los integrantes de los diferentes grupos, en entrevistas grupales, debe precisar y enfatizar los beneficios potenciales del proyecto. Los beneficios deben abarcar aspectos tales como: *mejorar la satisfacción de los clientes, incrementar la competitividad, mejorar la calidad de servicios y/o productos, aumentar la ganancia, incrementar la productividad, mejorar la utilización del staff, incrementar el progreso a través de un mejor funcionamiento*, etc. El director del proyecto debe analizar también impactos positivos que el SBC pueda tener cuando esté instalado.

El director del proyecto debe convencer de estos beneficios a los diferentes grupos y luego lograr compromisos por parte de éstos. Debe lograr que los patrocinadores se comprometan a crear incentivos para el uso del SBC. Si fuera necesario, deben construir o en su defecto suprimir mecanismos alternos para lograr la masa crítica en un tiempo corto. De los usuarios, por otra parte, debe lograr el compromiso de utilizar la herramienta observando los beneficios colectivos que la misma proporciona. Es muy importante para lograr la aceptación por parte de los usuarios, escuchar siempre la opinión de éstos. La siguiente tabla, permite precisar los beneficios del proyecto, teniendo en cuenta los diferentes grupos involucrados.

TABLA 3.2 Interrogantes sobre los beneficios potenciales del proyecto

GRUPOS A SATISFACER	INTERROGANTES
<i>Patrocinadores</i>	<ul style="list-style-type: none"> • ¿Podrá la solución propuesta disminuir los costos de la organización? • ¿Podrá incrementar la productividad de la organización? • ¿Mejorará el desempeño de las actividades? • ¿Incrementará la adherencia a ciertas políticas organizacionales? • ¿Cuales serán los beneficios directos de la construcción del SBC? • ¿Hay beneficios indirectos en la construcción del SBC? • ¿Hay beneficios financieros, estratégicos o competitivos? • ¿Generará ingresos adicionales la venta del SBC o los resultados producidos por éste?

⁷ El IC debe interrogar a los UP sobre los siguientes puntos: ¿cuál es su rutina normal de trabajo, ¿trabajan con computadoras?, ¿utilizan resultados o recomendaciones generadas por una computadora?, ¿qué tipo de ayuda les gustaría recibir del SBC?, ¿piensan que se puede integrar el SBC con su labor?, ¿consideran que el SBC puede provocar cambios en sus hábitos de trabajo?, si es así, cómo perciben esos cambios?, ¿consideran que con el uso del SBC su actividad será más fácil y/o agradable en el futuro?

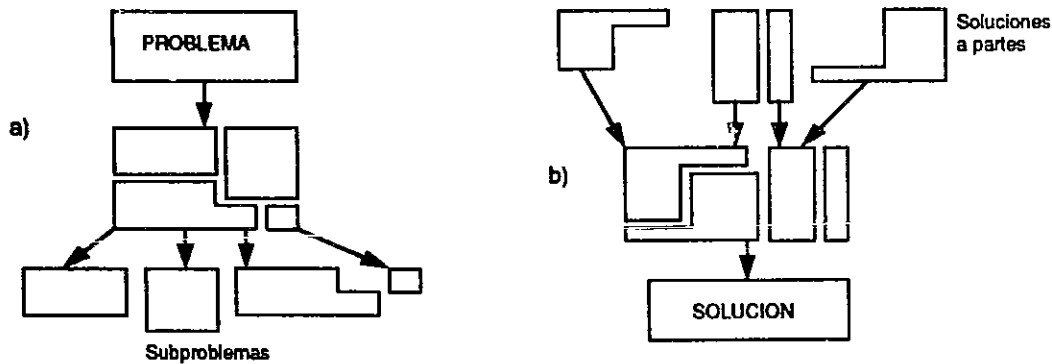
Capítulo 3. La Metodología para la Adquisición del Conocimiento.

<p><i>Clientes</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> • ¿ Mejorará el SBC la imagen con los clientes? • ¿ Mejorará la calidad de los servicios? • ¿ Reducirá el tiempo para ofrecer los servicios? • ¿ Habrá incremento en la calidad de las decisiones? • ¿ Se reducirán los tiempos para la toma de decisiones?
<p><i>Expertos Humanos</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> • ¿Aumentará la disponibilidad y/o detendrá la insuficiencia de expertos de la empresa? • ¿Aumentará el tiempo de los EH para actividades más importantes? • ¿Reducirá el tiempo en la preparación de nuevos expertos humanos ? • ¿Permitirá tomar una decisión en menos tiempo, incluso considerando más alternativas? • ¿Permitirá que individuos con menos experiencia puedan tomar a su cargo responsabilidades mayores? • ¿Podrá capturar los conocimientos y experiencias de los mejores EH?
<p><i>Usuarios</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> • ¿Están los usuarios dispuestos a utilizar el SBC? • ¿Qué beneficios producirá el SBC a los usuarios? • ¿Qué modificaciones a las responsabilidades de los usuarios son necesarias para lograr que el SBC sea factible? • ¿Son conscientes los usuarios que el SBC puede provocar cambios en sus hábitos de trabajo?. Si es así, cómo perciben los usuarios esos cambios? • ¿Consideran los usuarios que con el uso del SBC su actividad será más fácil y/o agradable en el futuro?

3.3.5. MODULARIZACION DEL CONOCIMIENTO

El desarrollo de modelos que reflejen el conocimiento y razonamiento que utilizan los expertos humanos para la solución de problemas, en dominios del conocimiento grandes y complejos, es una tarea muy difícil de realizar que presenta generalmente diferentes inconvenientes. Una forma de manejar el desarrollo de estos modelos consiste en dividir el mismo en unidades más pequeñas. De esta forma, el problema a resolver es dividido en subproblemas. Un grupo de acuerdo a su especialidad tratará de resolver un subproblema. La solución de cada uno de estos subproblemas permitirá la solución del problema final (ver figura 3.1).

La idea detrás de modularizar es separar el dominio del conocimiento en subdominios, como una forma de incrementar tanto el control del conocimiento como la flexibilidad del control más tarde en el SBC. Como DeMarco (1982) dice: *...when a system is larger than tiny, partition it into pieces so that each of the pieces is tiny. Then apply traditional methods to the pieces....* La observación de DeMarco es cierta. Sin embargo, los problemas que se intentan resolver a través de un SBC no se pueden descomponer en una forma obvia. Esta actividad requiere de la ayuda de expertos humanos.



**FIGURA 3.1. La descomposición de un problema en subproblemas
(a) El proceso de análisis y (b) El proceso de síntesis**

Toda modularización tiene un costo. Sin embargo, si ésta se realiza correctamente, los beneficios serán sustancialmente superiores a los costos. González et al. (1985) menciona las siguientes ventajas de la modularización:

- a. Reducción de la complejidad. Es más fácil el manejo de cada subdominio del conocimiento que el dominio total.
- b. Mejora el manejo y la asignación de recursos. Los modelos correspondientes a cada subdominio se pueden desarrollar en paralelo por diferentes personas o equipos de trabajo.
- c. Anima el trabajo en paralelo. El trabajo en paralelo fomenta la responsabilización práctica. Esta, por otra parte, permite la división, coordinación y control del trabajo; fomenta la especialización; evita razonamientos múltiples sobre un mismo tema; y permite delegar responsabilidad y autoridad.
- d. Se establece un orden de ejecución. Una vez que el problema se modulariza, se puede establecer en forma sencilla el orden -serial o paralelo- en que los módulos se deben desarrollar.
- e. Mantenimiento adecuado de los módulos. La modularización del problema permite simplificar el proceso de verificación y validación de los módulos. Además, permite la modificación de los mismos sin afectar al sistema total.

3.3.5.1. Criterios para modularizar

En la práctica no existen reglas específicas que permitan modularizar un problema. González et al. (1985) propone cuatro criterios interesantes: definir módulos independientes; definir los límites de los módulos teniendo en cuenta la minimización del número de interacciones entre los mismos, y tratando de reducir al máximo el número de variables de comunicación; identificar subsistemas que cumplen una función física, y considerar diferentes dinámicas que se pueden encontrar en el problema. Luego de modularizar, diferentes métodos (Rodríguez et al., 1982; Kuhlmann et al., 1981) se pueden aplicar para medir el nivel de dependencia entre los módulos. Los resultados proporcionados por estos métodos, permiten establecer el orden de desarrollo de los módulos.

Scott et al., (1991) propone otros criterios para modularizar. La propuesta sugiere que para determinar la funcionalidad de un SBC es necesario realizar un proceso de tres etapas. En la

primera, el ingeniero en conocimientos debe descubrir clasificaciones de funcionalidad que sean significativas para los expertos. La mayoría de los expertos no categorizan el problema o subdividen las tareas que ellos realizan. Sin embargo, generalmente y de manera inconsciente, estructuran u organizan el espacio del problema de alguna manera. Para lograr esta identificación, el ingeniero en conocimientos debe considerar: las funciones que el SBC debe realizar, las entradas que debe aceptar el sistema, y los resultados que debe generar el SBC. En la segunda etapa, el ingeniero en conocimientos debe evaluar el tamaño relativo, la dificultad, y la importancia de cada clasificación funcional. Finalmente en la tercer etapa, el ingeniero en conocimientos y el grupo de expertos humanos, deben evaluar las clasificaciones y decidir si la modularización es apropiada. Si el resultado de la discusión es negativo, el proceso se debe repetir.

3.3.5.2. Tamaño, dificultad e importancia

Medidas correctas de estas variables, facilitan realizar una adecuada calendarización del proyecto. Pero en la práctica, principalmente las medidas de tamaño y dificultad, son muy difíciles de obtener. Cuando se consiguen, generalmente son valores cualitativos.

El Tamaño

El tamaño de la unidad funcional expresa la cantidad de información que el ingeniero en conocimientos debe elicitar. Aunque generalmente no existen medidas cuantitativas, términos descriptivos se pueden utilizar para evaluar el tamaño de la unidad. Las técnicas del *juicio experto* y *DELPHI* se utilizan para realizar esta estimación.

La Dificultad

La dificultad de una unidad funcional es un indicador de la complejidad del proceso de razonamiento y de las estrategias que el experto utiliza para la solución de problemas. Aunque frecuentemente los expertos tienen dificultades para cuantificar la complejidad de un área de trabajo, usualmente aceptan estimar que *área es más difícil que otra*. Las siguientes son técnicas apropiadas para evaluar la dificultad de un área de trabajo:

- a. El IC debe solicitar al EH que proporcione un número que mida la dificultad de un área. Puede preguntar por ejemplo: la cantidad de tiempo que puede implicar ejecutar las tareas del área, el número de pasos que debe tener en cuenta en cada caso, o el número de alternativas que debe considerar en cada situación.
- b. Si el experto es incapaz de especificar una medida absoluta, el IC debe determinar una medida relativa. Generalmente, es preferible tener medidas cuantitativas. Por ejemplo, en porcentajes. Este método no es apropiado para comparar la dificultad relativa de las diferentes situaciones en que una tarea se puede realizar, sin embargo, es útil para comparar las dificultades de las subtareas.
- c. El ingeniero en conocimientos debe asignar un número a una categoría cualquiera y debe solicitar al experto que clasifique al resto de las categorías teniendo en cuenta este número.
- d. Si el esquema de asignar un número a una categoría fracasa, el IC debe intentar con otra alternativa. Por ejemplo, asignar un promedio de dificultad.

Si en el proceso de establecer una medida de dificultad para una categoría en particular el ingeniero en conocimientos descubre que el experto asocia a la misma una medida de dificultad

excepcional, entonces debe verificar cuidadosamente si la tarea o el área está bien definida, si está bien comprendida por el experto, o si el EH tiene métodos o recursos para poder resolverla.

La Importancia

La importancia de una categoría de funcionalidad mide la significancia de ésta respecto a los objetivos del proyecto, teniendo en cuenta además las prioridades del mismo. Las técnicas para evaluar la importancia de un área de trabajo son similares a las presentadas en la sección anterior. Sin embargo, hay dos variables que se deben considerar especialmente para realizar el estimado:

- a. **La frecuencia.** Cuando con más frecuencia se realiza una tarea o se trabaja en un área, más importante se debe considerar esta tarea o área para el proyecto.
- b. **La necesidad de ayuda.** Usualmente, esta variable está asociada a la dificultad e importancia de una tarea o área de trabajo.

3.3.6. LA SELECCION DE LAS FC

Un paso importante en la definición de la primera etapa lo constituye la identificación de los expertos. El director del proyecto y los ingenieros en conocimiento no puede comenzar a trabajar en el proyecto hasta no identificar a las FC que proporcionarán los conocimientos necesarios para el SBC.

3.3.6.1. Identificación de las FCP

El director del proyecto, en forma conjunta con los grupos de ingenieros en conocimientos y expertos humanos, debe identificar manuales, catálogos, libros de texto o cualquier otro material escrito, asociado al dominio de conocimiento de la aplicación. Además, debe investigar si existen bases de datos relacionadas a las diferentes áreas de trabajo. Posteriormente, debe analizar el material escrito y evaluar si podrá utilizarlo sin asistencia. En caso que necesite de la misma debe solicitarla al grupo de EH.

3.3.6.2. Identificación de las FCA

En forma posterior a modularizar el conocimiento, el director del proyecto en forma conjunta con los grupos de ingenieros en conocimientos y expertos humanos, debe seleccionar a las FCA que participarán en el proyecto. El número de expertos y la forma en que se integrará el equipo de trabajo dependerá generalmente de la aplicación y la magnitud del proyecto. A continuación se discuten algunas alternativas (Scott et al., 1991).

- a. **Un sólo EH.** En muchos desarrollos de SBC se cuenta con sólo un EH (figura 3.2 (a)). Este puede ser el caso de una organización interesada en tener en su acervo un SBC que almacene los conocimientos, la experiencia, la destreza, y rzone, en la solución de un problema, de forma similar a un EH que se está por retirar, jubilar o se puede ausentar por diferentes razones. En este tipo de proyectos el ingeniero en conocimientos trabajan en forma muy cercana al EH y con un alto grado de colaboración.

- b. **Una sucesión de EH.** En este caso, un experto por diferentes razones, no puede estar disponible durante todo el tiempo de duración del proyecto. Por lo tanto, es necesario incluir dos o más expertos humanos que trabajen en sucesión (figura 3.2 (b)). Las razones de la disponibilidad del experto pueden ser variadas. Un caso común lo representa la complejidad de la aplicación. El conocimiento de la FCA no es suficiente para resolver todos los aspectos de las tareas y en tal caso, una sucesión de EH es recomendable. Las FCA se seleccionan, generalmente, en entrevistas en las que participan el director del proyecto, el grupo de expertos humanos, los candidatos expertos, probablemente los jefes de estos candidatos, y en ciertas circunstancias el grupo de PA. En la entrevista, primeramente el ingeniero en conocimientos debe presentar los diferentes módulos de conocimiento y/o tareas definidas, y posteriormente se debe seleccionar a los expertos que proporcionarán el conocimiento necesario para cada uno de estos módulos y/o tareas. En este tipo de aplicaciones, cada EH está ligado directamente al proyecto durante un período de tiempo. Posteriormente otro experto lo sustituirá. Estos cambios son previstos desde el inicio del proyecto. El IC debe informar a los patrocinadores y/o jefes de las FCA, el tiempo (un estimado) que requerirá de los diferentes expertos y las responsabilidades de los mismos en el proyecto.
- c. **Grupos de expertos humanos para resolver una tarea.** En algunas aplicaciones, los EH resuelven una tarea en grupos de dos o más miembros (figura 3.2 (c y d)). Esta situación ocurre generalmente cuando las FCA comparten la misma área de trabajo. Cabe destacar que la cooperación que se presenta entre los miembros del equipo de trabajo, en este caso, es recursiva. Los expertos mutuamente dependen uno de otro para alcanzar la solución del problema. Los EH se deben seleccionar con sumo cuidado. Deben tener habilidad para comunicarse, compartir sus conocimientos, y trabajar de manera colaborativa.
- d. **EH en diferentes áreas de trabajo.** Probablemente la mayor cantidad de aplicaciones de SBC permite modularizar el conocimiento. Por lo tanto, si existen diferentes áreas de trabajo, seguramente conviene incluir por lo menos un EH por cada área de especialidad (figura 3.2 (e)). La cooperación que se presenta entre los miembros del equipo de trabajo, en este caso, es horizontal. Cada experto del grupo obtiene soluciones a sus subproblemas sin depender de los otros miembros del equipo. La solución de cada uno de estos subproblemas permitirá la solución del problema final.
- e. **Grupos de EH en diferentes áreas de trabajo.** Este es el esquema ideal (figura 3.2 (f)). La metodología propuesta, considera especialmente esta alternativa. La misma combina las ventajas de los dos esquemas anteriores. El esquema implica modularizar el dominio de conocimiento. Una sociedad de expertos trabaja colaborativamente para alcanzar la solución de cada uno de estos módulos. Esta *sociedad de expertos* puede solucionar problemas de mayor complejidad, complementar la capacidad individual especialmente en dominios donde el conocimiento es extenso, parcial, impreciso y/o incierto; y reduce el tiempo de solución de tareas individuales.

3.3.7. LOS MECANISMOS DE VERIFICACION Y VALIDACION

Generalmente los ingenieros en conocimientos verifican y validan un SBC *corriendo* un grupo de casos y comparando los resultados obtenidos contra datos conocidos u opiniones de expertos. El porcentaje de éxito del desempeño se calcula considerando el número de respuestas acertadas y

equivocadas, aunque este porcentaje depende fuertemente del número y tipo de casos seleccionados.

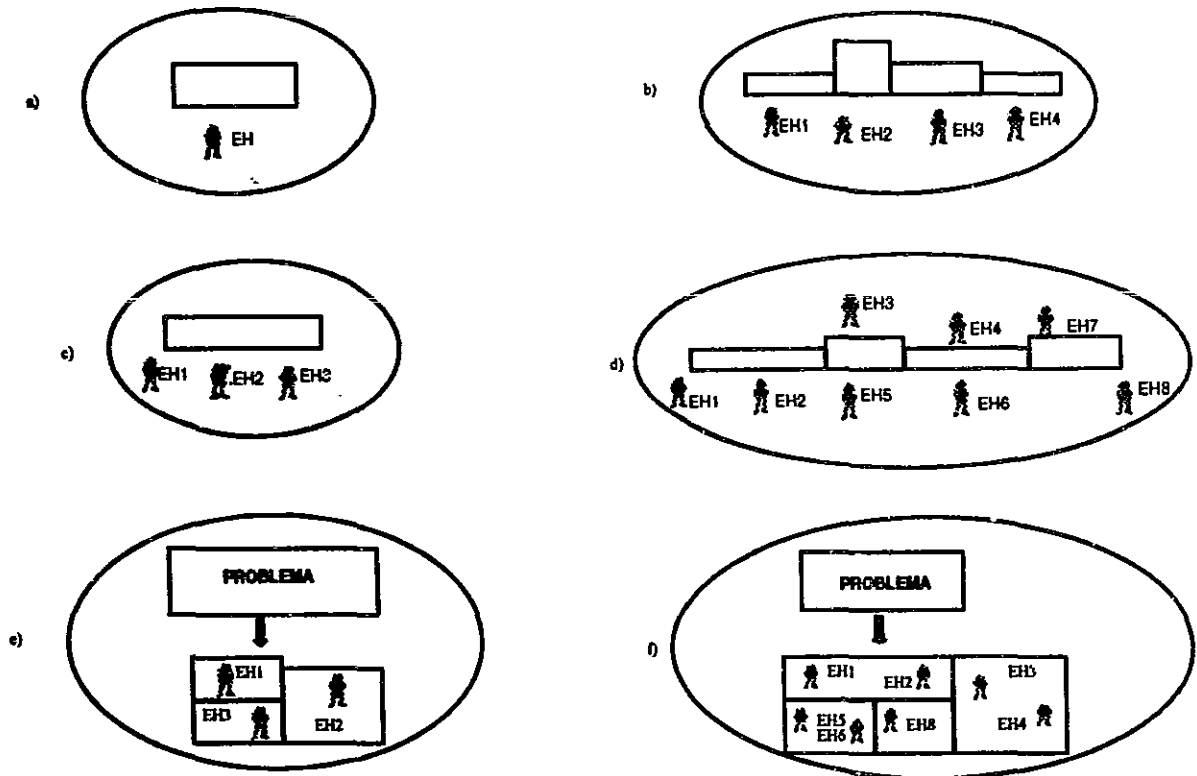


FIGURA 3.2. Diferentes alternativas para la integración del grupo de EH. (a) un sólo EH, (b) una sucesión de EH, (c) y (d) grupos de EH para resolver una tarea, (e) EH en diferentes áreas de trabajo, y (f) grupos de EH en diferentes áreas de trabajo.

El objetivo de las actividades de verificación y validación en la fase de AC es la de valorar y medir la calidad de los modelos. Cabe recordar que los atributos de la calidad son: la corrección, la perfección, la consistencia, la confiabilidad, la utilidad, la eficacia, y el apego a los estándares. Aunque se debe tratar que un modelo esté en su totalidad libre de errores y muestre un comportamiento perfecto, esto es difícil de lograr en la realidad. Los conceptos de validación y verificación no se deben considerar como variables de decisión binaria en el cual los modelos son absolutamente válidos o inválidos. Debido a que los modelos son representaciones o abstracciones de la realidad, no podemos esperar un desempeño perfecto (O'Keefe et al., 1989). El nivel de desempeño, sin embargo, se debe especificar claramente en esta etapa. Los métodos que se pueden aplicar para la verificación y validación de los modelos son cuantitativos y/o cualitativos.

3.3.7.1. Métodos cuantitativos

La validación cuantitativa emplea técnicas estadísticas para comparar el desempeño de los modelos contra resultados conocidos de casos y/u opiniones de EH. Son muy útiles cuando los resultados son cuantificables. Estos se dividen en dos categorías:

Capítulo 3. La Metodología para la Adquisición del Conocimiento.

- a. Se crea un intervalo de confianza para una o más mediciones. Posteriormente se compara subjetivamente a éste con un rango de desempeño aceptable.
- b. Se usa una prueba de hipótesis formal para comparar las medidas contra un rango de desempeño predeterminado, donde las hipótesis son:
H₀ : el modelo es válido para el rango de desempeño establecido
H₁ : el modelo es inválido para el rango predeterminado.

Se discuten a continuación cuatro métodos cuantitativos.

Prueba de Pares⁸

Esta técnica se utiliza para comparar las diferencias entre resultados observados. La *prueba de pares* mide la diferencia (D_i) entre el desempeño del modelo o SBC y datos proporcionados por los EH.

$$D_i = X_i - Y_i$$

donde X_i expresa los resultados del modelo y Y_i el de los expertos humanos. Para n casos, habrá n diferencias observadas: D_1 a D_n . Los valores que pueden tomar X_i y Y_i pertenecen a una escala de 1 a 10. En (O'Keefe et al., 1989) se establece que el intervalo de confianza para las diferencias D_i , se obtiene de la siguiente forma:

FORMULA 3.1 Intervalo de confianza para la prueba de pares

$$d \pm t_{n-1, \alpha/2} S_d / n^{0.5}$$

donde d representa la diferencia, S_d la desviación estándar, y $t_{n-1, \alpha/2}$ el valor de la distribución de t con n grados de libertad. Si el cero pertenece al intervalo de confianza entonces se puede aceptar H_0 .

La Prueba T^2 de Hotelling⁹

La técnica anterior es útil para evaluar modelos o SBC que producen un solo resultado. Sin embargo, si hay múltiples resultados, la prueba de pares es inapropiada. En tal caso, se puede utilizar la prueba t^2 de Hotelling. Asumiendo que tenemos K respuestas (resultados medibles) para un grupo inicial de datos, se puede establecer la diferencia entre el desempeño del EH y el modelo, en K pares de respuestas. Si el proceso se repite para diferentes valores de entrada, se construyen K vectores de diferencias, uno por cada respuesta. Luego se aplica el método de Hotelling para determinar si los vectores de diferencia son significativamente diferentes de cero (O'Keefe et al., 1989; Balci et al., 1983).

Intervalos de Confianza Simultáneos

⁸ El nombre original del método es Paired t-test.

⁹ El nombre original del método es Hotelling's one-sample T^2 test.

Para validar modelos con múltiples respuestas, se pueden construir intervalos de confianza o regiones de confianza para diferentes pares de respuestas. Usualmente, se comparan los intervalos de confianza con el rango de desempeño aceptable prescrito. Esta técnica se ha utilizado principalmente para la validación de modelos de simulación (Balci et al., 1984).

Medidas de Consistencia

Si se desea comparar un modelo o SBC contra múltiples expertos, o bien comparar múltiples EH contra un sistema en una prueba de Turing, entonces se puede utilizar medidas de consistencia. El coeficiente de correlación entre clases, probablemente la medida de consistencia más común, se utiliza para medir la confiabilidad de los distintos EH. Si un juicio hecho por el experto i sobre el caso j es denotado por Y_{ij} , luego un modelo para la fiabilidad del experto se representa de esta forma:

FORMULA 3.2 Modelo para la confiabilidad del experto

$$Y_{ij} = \mu + E_i + \xi_{ij}$$

donde μ significa el promedio de todos los expertos, E_i representa el efecto del i -ésimo experto (la desviación μ), y ξ_{ij} es el término correspondiente al posible error. De este modelo, se puede producir y evaluar un coeficiente de correlación. Si Y_{ij} representa una variable categórica (tal como: experto, muy bueno, bueno, regular, pobre) más que una variable continua, luego se puede aplicar un método estadístico para medir la confianza (Cohen, 1968).

3.3.7.2. Métodos cualitativos

Las técnicas cualitativas utilizan comparaciones subjetivas del desempeño del modelo. Sin embargo, esto no implica que las técnicas sean informales. Actualmente se pueden utilizar técnicas cualitativas con un nivel muy alto de formalidad. Las más importantes se discuten a continuación:

Validación Presencial

Esta técnica es muy útil para la validación de modelos en la fase de AC. El grupo de IC y EH utilizando sus conocimientos, experiencias e intuición, puede comparar subjetivamente el desempeño del modelo contra el de los expertos humanos. La validación presencial se realiza con respecto a un rango definido previamente y los resultados proporcionados por el modelo, al *correr* un conjunto de casos cuidadosamente escogidos. El SBC R1/XCON se validó con esta técnica. Se encontraron errores en el mismo que fueron corregidos previo a la instalación final del sistema (McDermott, 1981).

Validación Predictiva

Para utilizar esta técnica se requiere de un conjunto de casos históricos (biblioteca de casos) y además conocer los resultados de los mismos y/o medidas del desempeño de los EH sobre estos casos. El funcionamiento de la validación es simple. Se ingresan los casos al modelo y se

comparan los resultados obtenidos con los resultados históricos. Hudson et al. (1985) utilizó esta técnica para validar el SBC EMERGE.

Prueba de Turing

La técnica permite validar un modelo o SBC contra expertos humanos , evaluando el desempeño del modelo contra el de los EH. Al desconocer la identidad de los mismos, se evita la inclinación en pro o en contra del sistema, o de un EH en particular. Si la validación se realiza objetivamente, posteriormente se pueden aplicar técnicas estadísticas para comparar las variaciones de comportamiento entre el modelo y los expertos humanos , o la consistencia en el desempeño de los expertos. Chandrasekaran (1983) recomienda el uso de esta técnica para la validación de SBC en medicina. MYCIN y ONCOCIN se validaron de esta forma.

Validación de Subsistemas

La técnica requiere modularizar el dominio del conocimiento. La validación se aplica a cada modelo. Las ventajas de la técnica se resumen a continuación:

- a. Es más fácil validar un modelo que representa un subconjunto de conocimiento, que validar un modelo que representa el dominio completo.
- b. Es más fácil detectar errores en subdominios que en dominios completos.
- c. La validación se puede aplicar paso a paso. Cada vez que se finaliza un modelo se puede validar el mismo.

La técnica, sin embargo, presenta una desventaja importante. La validación exitosa de los subdominios, no implica la validación total del dominio del conocimiento. Errores pequeños que se pueden detectar en la validación de un submodelo y que entran dentro del rango de tolerancia, pueden arrastrarse a otros modelos, afectando el rango de tolerancia total. Además, la interacción entre los diferentes subsistemas también puede ser causa de errores que es preciso considerar. Langlotz et al. (1986) presenta un ejemplo interesante de esta técnica.

3.3.7.3. Comentarios sobre validación y verificación

Las técnicas cuantitativas permiten mayor exactitud en la verificación y validación de modelos, pero requieren en la mayoría de los casos el desarrollo de complejos modelos matemáticos que pueden consumir demasiado tiempo y ser muy costosos. Se pueden utilizar en aplicaciones críticas o cuando el modelo presenta múltiples respuestas. Las técnicas cualitativas, por otra parte, son las que generalmente se utilizan en la mayoría de las aplicaciones.

Actualmente la experiencia en aplicación de técnicas cualitativas o cuantitativas para la verificación y validación de modelos o SBC es muy pobre. Existe, por otra parte, conciencia sobre los riesgos de no aplicar tales técnicas en los procesos de validación y verificación. Cuando la aplicación es muy crítica y los resultados son cuantificables, el uso de técnicas cuantitativas es apropiado. En otros casos, el uso de técnicas cualitativas es recomendable. Hay que considerar además la posibilidad de aplicar una combinación de ambas.

Finalmente cabe remarcar que el ingeniero en conocimientos, de acuerdo a sus conocimientos y experiencias, debe seleccionar la técnica más apropiada. Debe considerar también el dominio de la aplicación y la magnitud y complejidad del problema que debe verificar y validar.

3.3.8. EL DICCIONARIO DEL PROYECTO

El director del proyecto en forma conjunta con el grupo de ingenieros en conocimientos antes de realizar la elicitación del conocimiento de los expertos humanos, debe comprender los conceptos que estos manejan en el área de aplicación y la terminología que utilizan para nombrar o describir estos conceptos. En forma paralela, con la ayuda de las FCAD, debe construir el *diccionario del proyecto*. Este consiste de una lista indizada, *en línea*, de los términos, conceptos y/o vocabulario en general, que los expertos humanos utilizan en el área de aplicación.

El contenido del diccionario de datos puede variar de proyecto en proyecto. En algunos casos, el director del proyecto debe incorporar al mismo sólo los términos que para él son nuevos. En otros casos, puede incluir todos los términos relacionados a la aplicación. Posteriormente, ya en la fase de entrevistas puede incorporar nuevos términos, conceptos, vocabulario y/o actualizar descripciones anteriores. Indudablemente la comunicación entre el director del proyecto, los ingenieros en conocimientos, y las fuentes de conocimiento activas será más efectiva si comparten el mismo lenguaje, familiaridad y/o puntos de referencia, sobre el área de la aplicación.

3.3.9. OTROS RECURSOS NECESARIOS PARA REALIZAR LA AC

El director del proyecto debe responder a las siguientes preguntas (Tansley & Hayball, 1993) para poder establecer otros recursos necesarios para la fase de AC:

- a. ¿Qué materiales, personal u otros recursos son necesarios para realizar la AC?
- b. ¿Qué habilidades requiere el personal?
- c. ¿Hay recursos monetarios para invertir en software, hardware o algún otro recurso no previsto?
- d. ¿Cuáles son los requerimientos respecto a computadoras, impresoras, fuentes de poder, aire acondicionado y/o calefacción?
- e. ¿Qué espacio físico se necesita para desarrollar el proyecto?
- f. ¿Hay restricciones respecto al medio ambiente, tales como temperatura, humedad o interferencias magnéticas?
- g. ¿Debe haber copias de la documentación en lugares diferentes?
- h. ¿Se deben tomar precauciones respecto a ladrones y/o fuego?

Las cuatro primeras preguntas están relacionadas a requerimientos de tipo generales, las dos siguientes a requerimientos de tipo físico y las dos últimas a requerimientos de seguridad. Además, las tres últimas preguntas están más relacionadas al hardware y software del SBC que a la fase de AC. Respecto al personal, el director del proyecto debe considerar las tareas que se deben realizar y las habilidades y experiencias que debe tener el mismo para realizar su trabajo eficientemente. Es

recomendable que los individuos sean comunicativos, puedan compartir ideas y conocimiento, sepan escuchar, sean organizados, buenos técnicos, con capacidad analítica y lógica, y apropiada experiencia.

3.3.10. TECNICAS PARA REALIZAR LA ELICITACION DEL CONOCIMIENTO

El director del proyecto en forma conjunta con el grupo de ingenieros en conocimientos debe considerar las diferentes técnicas para realizar la adquisición del conocimiento. Debe estimar el número inicial y tipo de entrevistas requeridas. Este es un requisito fundamental para poder realizar la calendarización y establecer los costos del proyecto. Además debe analizar los métodos para el registro y documentación de las sesiones.

Las entrevistas permiten una comunicación *distribuida* o *cara a cara*. En las sesiones distribuidas los participantes no se encuentran físicamente en el mismo lugar, y se pueden llevar a cabo al mismo tiempo o no. En las entrevistas cara a cara los participantes se encuentran físicamente en el mismo lugar y al mismo tiempo. Este tipo de reuniones presenta ventajas importantes ya que permite una comunicación supravocal entre los integrantes. Es decir, no sólo interviene la palabra hablada, sino también los ademanes, la expresión y la personalidad de los integrantes del grupo. Permite además la simultaneidad de expresión y recepción, además de la velocidad. Hay continuidad del intercambio, intimidad y presencia.

Esta forma de comunicación se puede clasificar a su vez en *individual* o *grupal*. La entrevista individual es una conversación entre dos personas, dirigida (de manera directa o indirecta) por una de ellas, que tiene por objetivo obtener determinada información, intercambiar ideas, la oportunidad de observar, asesorar, y/o conocer opiniones, actitudes, etc. En la entrevista grupal, el ingeniero en conocimientos se reúne con los integrantes del grupo durante un cierto tiempo para obtener determinada información. Desde el inicio de la sesión el IC debe estimular y motivar la participación del grupo. La tendencia de los individuos a idealizar y dramatizar experiencias se restringe frente a otras personas que tienen verdadero conocimiento del tema de que se trata.

Las técnicas que se pueden aplicar, por otra parte, se clasifican en: *conversacionales*, *observacionales* y *multidimensionales*. El ingeniero en conocimientos siempre debe disponer de una batería de técnicas y además, formas para evaluar los beneficios y desventajas de las mismas. Esto último para poder juzgar adecuadamente en qué caso y cuándo debe utilizar una de ellas. Las técnicas varían en su forma de aplicación, en el tipo de información que producen -verbal o no verbal-, y en el tipo de conocimiento que pueden elicitar, entre otras.

3.3.10.1. Técnicas conversacionales

Las técnicas conversacionales son técnicas verbales apropiadas para que el experto recuerde, reflexione y explique su comportamiento, ante una situación dada. Se presentan a continuación las técnicas conversacionales más importantes:

Entrevistas Dirigidas

El objetivo de las entrevistas dirigidas, es lograr del entrevistado la manifestación de su pensamiento, ante preguntas predeterminadas por el entrevistador. Se debe ofrecer comodidad al entrevistado, emplear palabras accesibles, escucharlo con atención, mantener para sí los puntos de vista a que conduce la entrevista, no interrumpirlo bruscamente, y cerrar toda conversación con amabilidad (Castro, 1978). Las entrevistas dirigidas tienen la ventaja de que parece natural al experto y no causa al mismo desagrado. Su principal desventaja consiste en la gran cantidad de información que se obtiene y se debe transcribir y analizar. Estas, se pueden aplicar cuando se trata de elicitar:

- a. Conocimiento factual. Especialmente en dominios donde el conocimiento estático no está bien documentado.
- b. El problema que se debe solucionar.
- c. El análisis y descomposición de procesos.
- d. Leyes de inferencia.

Entrevistas No Dirigidas

En este tipo de entrevistas el EH no está condicionado a preguntas, sino que el mismo determina el tema a cubrir en la conversación. El ingeniero en conocimientos debe estimular a los expertos humanos para que hablen sin limitaciones. La teoría y la práctica demuestran que este tipo de entrevistas permite al entrevistado mostrar su personalidad y sus aptitudes. En las entrevistas dirigidas existe el inconveniente de que a veces el entrevistado no responde lo que *siente*, sino lo que presupone le gustaría oír al entrevistador.

Entrevistas Estructuradas

Las entrevistas estructuradas se utilizan generalmente para obtener información detallada del conocimiento estático. El ingeniero en conocimientos trata de elicitar todo el conocimiento relativo a algún aspecto del dominio interrogando continuamente al EH con el objeto de clarificar, justificar, o encontrar explicaciones e incluso contra ejemplos. La diferencia principal con respecto a las entrevistas dirigidas radica en que el ingeniero en conocimientos interroga a profundidad sobre algún aspecto del dominio del conocimiento, más que sobre un número de tópicos a un alto nivel preparados previamente. Si bien en ambos tipos se realizan preguntas, en las entrevistas estructuradas, el estilo es predominantemente de interrogación. Este tipo de entrevistas es apropiado para analizar conocimiento estático, construir leyes de inferencia y analizar restricciones. La técnica, aunque en menor medida, es apropiada para el análisis y descomposición de procesos, y análisis de estrategias de razonamiento. Una ventaja importante de la técnica la representa la disciplina y el orden con que se conduce la sesión. Esto implica lógicamente menor trabajo para el IC cuando analiza y transcribe el conocimiento elicitado. La desventaja radica en el hecho de que el ingeniero en conocimientos no puede estar completamente seguro de la exactitud de las respuestas. El EH responde a éstas bajo la presión de un cuestionario. Además requieren que el IC tenga un dominio satisfactorio sobre la aplicación para poder conducir la misma.

Introspección

La *introspección* se presenta cuando el IC solicita al EH que imagine y describa como solucionaría un problema en particular. El EH puede dar un testimonio, pensar en voz alta, o contar una historia, sobre *cómo* solucionaría el problema. Es muy importante, que describa todo el proceso de razonamiento que conscientemente aplica para alcanzar la solución. Esta forma de adquisición puede suceder espontáneamente en una entrevista dirigida. Sin embargo, introspección es el nombre que se utiliza para describir este fenómeno. La técnica se puede utilizar para: elicitación de estrategias de razonamiento que el experto sigue en la solución de un problema, obtener información global sobre el tipo de conocimiento que el experto utiliza, justificar la toma de decisiones de un proceso, analizar y descomponer procesos, etc. El principal problema de la técnica radica en la pérdida de confianza en la información obtenida. Generalmente existe una gran diferencia entre la forma en que el experto piensa en como debe solucionar un problema y en la forma en que *realmente* lo hace.

La Entrevista Tutorial

Esta es una técnica simple de adquisición. El IC sugiere al EH que prepare una clase sobre los principales temas e ideas del dominio del conocimiento, de aproximadamente una hora. La clase es registrada y los conceptos son posteriormente extraídos de la documentación. La técnica se puede aplicar cuando no existe suficiente material estático. El ingeniero en conocimientos puede utilizar esta técnica además para la comprensión del dominio del conocimiento y la construcción del diccionario de datos. La principal desventaja consiste en que el IC no tiene *control* sobre la exposición del experto.

3.3.10.2. Técnicas observacionales

Las técnicas observacionales, pueden incluir o no la generación de un protocolo verbal. El experto se encuentra en diferentes situaciones de la vida real simulando la solución de un problema. El IC observa la forma en que el EH soluciona al mismo. La desventaja de estas técnicas radican en que los ojos del observador no tienen acceso a todos los detalles involucrados en un proceso de solución de una tarea y/o un problema. Las técnicas más importantes son las siguientes:

Análisis de Protocolos

En sesiones de este tipo, el EH piensa en voz alta sobre la solución de un problema. Esta es la principal diferencia con introspección. El IC debe tomar una postura muy discreta en sesiones de este tipo, y sólo debe interferir al entrevistado para animarlo, motivarlo y/o influenciarlo a continuar hablando sobre el tema. La técnica es útil para elicitación de información acerca de *cuando* y *cómo* se debe utilizar cierto conocimiento, estructurar tareas y estrategias usadas en la solución de un problema, evaluar criterios y procedimientos, y analizar cadenas de inferencias. El IC debe tratar de validar sus hipótesis observando las acciones que el experto realiza y retroalimentando su información en sesiones subsecuentes. La principal ventaja de la técnica radica en la validación de

los datos observados. El EH debe realizar las acciones correctamente porque de otra forma no soluciona el problema. Además la verbalización sin restricciones por parte del experto, revela generalmente conocimiento que difícilmente se puede elicitar con otra técnica.

La Observación del Experto

Esta técnica permite observar al experto realizando la tarea. No existe un protocolo verbal. El ingeniero en conocimientos debe inferir lo que el EH realiza. La técnica es apropiada para la elicitación de conocimiento tácito, el cual por diferentes razones, no puede ser verbalizado por el experto. Se utiliza además para analizar y descomponer procesos, construir estrategias de razonamiento y reconstruir tareas. Usualmente se aplica en aquellos casos donde el experto no puede comunicar su comportamiento en forma verbal o cuando su tiempo es muy valioso y las entrevistas son difíciles de realizar. El ingeniero en conocimientos elicita el conocimiento observando las actividades que realiza el experto en la descomposición y/o solución de tareas, e infiriendo el proceso de razonamiento y estrategias que utiliza. De esta forma reduce significativamente el número de entrevistas. Sólo solicita un mínimo de éstas, para justificar y validar sus hipótesis.

3.3.10.3. Técnicas multidimensionales

Estas son técnicas artificiales que permiten obtener información de manera no verbal. Las técnicas, a menudo, *fuerzan* al experto a pensar sobre el dominio de una manera diferente a como lo hace habitualmente. Las desventajas de estas técnicas radican en que solo generan clasificaciones, y los resultados son altamente dependientes de la forma en que el conocimiento ha sido adquirido. Las técnicas multidimensionales más importantes se discuten a continuación:

Selección de Conceptos¹⁰

La técnica permite capturar el punto de vista o apreciación personal que tiene el EH de un problema y su dominio, con respecto a la experiencia y comprensión que ha desarrollado del mismo a través de los años. La técnica se compone de *elementos* y *construcciones*. Los elementos constituyen el dominio y las *construcciones* representan una característica bipolar de los elementos. El ingeniero en conocimientos debe seleccionar al azar o sistemáticamente tres elementos del dominio. El experto debe escoger los dos elementos más similares y nombrar los atributos más parecidos de estos. Por otra parte, debe señalar el atributo más opuesto de los dos elementos, que describe al tercero. Así se llega a la formación de una construcción bipolar. El proceso continúa con la selección tres nuevos elementos. Finaliza, cuando el EH pudo representar su punto de vista sobre el problema. La técnica se puede aplicar cuando los expertos tienen dificultades para establecer criterios de decisión sobre la discriminación de elementos del dominio, analizar conocimiento estático, analizar y descomponer procesos, etc. El análisis sistemático de las construcciones bipolares puede revelar patrones fundamentales que categoricen a los elementos

¹⁰ El nombre original del método es Repertory Grid.

del dominio. Con estos patrones se pueden construir reglas de decisión similares a las que los expertos humanos utilizan en la solución de problemas. El método consume bastante tiempo y su administración es bastante compleja. Por otra parte, el *grid* puede ser difícil de analizar e interpretar. La técnica se recomienda sólo en el caso de que se tengan menos de diez elementos en el dominio.

Ordenación de Tarjetas

La técnica de ordenación de tarjetas es similar a la del método anterior, aunque más simple. El IC prepara un conjunto de tarjetas, donde cada una de éstas representa un concepto del dominio. Las tarjetas se colocan en forma aleatoria sobre la mesa. El EH tiene que escoger una dimensión y luego nombrar los atributos de ésta. Posteriormente debe colocar las tarjetas en la columna (atributo) que le corresponde. Supongamos que se utiliza este método para clasificar frutas. El IC nombra a las tarjetas como: manzana, pera, limón, naranja, banana, tomate y mandarina. El experto selecciona el color como dimensión, y señala que los atributos son rojo, verde, amarillo y naranja. La clasificación que realiza es la siguiente:

primera dimensión = color

atributo 1 = rojo (manzana, tomate)

atributo 2 = verde (pera, limón)

atributo 3 = amarillo (banana)

atributo 4 = naranja (naranja, mandarina)

El proceso se repite mientras el experto encuentra dimensiones. La técnica es útil para definir y relacionar conceptos, y formar reglas de clasificación. La desventaja fundamental radica en que el ingeniero en conocimientos debe conocer perfectamente el dominio de la aplicación para poder identificar a los conceptos.

Generación de Matriz

La técnica es particularmente útil cuando los expertos proporcionan la información en forma tabular. El proceso es muy simple. Supongamos que se crea una matriz con los nombres de síntomas y fallas, como columnas y filas, respectivamente. La matriz se completa con la información proporcionada por los expertos. Un gran número de relaciones proposicionales entre conceptos se pueden formar en un período corto de tiempo. Aunque es improbable que la técnica se utilice sola en el proceso de adquisición del conocimiento, ésta puede ser de suma utilidad como complemento de otras.

3.3.10.4. Métodos para el registro de las entrevistas

La conducción de una entrevista involucra mucho más que hacer interrogaciones de acuerdo a un cuestionario realizado con anterioridad y en un tiempo previsto. El ingeniero en conocimientos debe conducir las sesiones haciendo uso de técnicas que le permitan registrar toda la información. El cuaderno de notas y la grabadora, en forma conjunta, son las técnicas más ampliamente utilizadas para registrar el conocimiento elicitado. Se sugiere además que un ayudante

experimentado auxilio al Ingeniero en conocimientos en el registro de las entrevistas. El IC puede filtrar el material antes de que el mismo sea analizado. Se describen a continuación un conjunto de técnicas interesantes para el registro de las sesiones (Scott et al., 1991):

- a. **Tomar notas.** La forma más común de registrar una conversación verbal es en un cuaderno de notas. Durante la entrevista se utiliza este cuaderno para registrar ideas importantes, definiciones de nuevos términos y preguntas para discusiones posteriores. Las notas además de registrar lo que el EH menciona, permiten capturar un pensamiento. Tomar notas representa la forma más versátil y condensada de capturar la información de un experto. Prácticamente no existe ningún otro método que pueda sustituir un buen cuaderno de notas. Sin embargo, se recomienda utilizar métodos complementarios. Se recomienda además, contar con una persona que se dedique a registrar la información generada mientras el IC se dedica exclusivamente a conducir la entrevista.
- b. **Rotafolios y Pizarrones.** El IC puede utilizar equipos de media, como rotafolios y pizarrones, para estimular la discusión. En ellos se pueden escribir ideas y dibujar diagramas. Muchos expertos se expresan mejor en forma escrita y esto puede ser el medio adecuado. Los rotafolios proveen un registro permanente. Al final de la entrevista se pueden guardar todas las hojas del rotafolio para analizarlas posteriormente. El pizarrón se presenta en una variedad de tamaños y permite desplegar en forma óptima una serie de diagramas. Tienen la desventaja de que no se pueden transportar fácilmente y no proveen un registro permanente.
- c. **Grabadoras.** La fiabilidad de las notas se puede incrementar utilizando grabadoras en las entrevistas. La técnica es especialmente útil cuando un miembro del equipo no puede estar presente en la sesión o cuando el IC conduce la entrevista y toma notas al mismo tiempo. Posteriormente el IC puede *escuchar* la entrevista y complementar las notas. Para utilizar grabadoras en una sesión es conveniente observar las siguientes recomendaciones (Scott et al., 1991): obtener el permiso de los EH antes de la entrevista, tolerar restricciones impuestas por los expertos -éstos pueden divulgar cierta información que no desean sea escuchada por otros miembros del equipo de trabajo-, y etiquetar cada casete con la fecha, participantes de la sesión y tópico de discusión.
- d. **Videocámaras.** Algunos IC prefieren el uso de videocámaras para registrar las entrevistas. La revisión de las cintas permite posteriormente incrementar el contenido de las notas. Sin embargo hay que considerar que muchos expertos se pueden distraer ante el uso de tal medio. Una forma de evitar este inconveniente es realizar las entrevistas en habitaciones acondicionadas para tal fin. La sesión puede ser filmada sin que el experto sienta la presión de las cámaras. Las recomendaciones para el uso del medio anterior, también son útiles para éste.

3.3.10.5. Métodos para la documentación de las sesiones

La documentación de las diferentes sesiones es una actividad fundamental en el proceso de AC. La misma puede ser útil en cualquier parte del ciclo de vida del proyecto. Aunque los estándares y la evaluación de la calidad son esenciales si se quiere producir una buena documentación, el factor más importante en ese sentido es la habilidad del redactor para construir un texto técnico claro y conciso. Sommerville (1996) ha definido ciertos principios¹¹ que marcan un buen estilo para la

¹¹ Los principios que marcan un buen estilo son los siguientes: utilizar formas gramaticales activas en lugar de pasivas, no emplear frases largas que presenten varios hechos distintos, no hacer referencia a la información sólo con el número de

redacción de la documentación. Por otra parte, el instrumento de documentación más importante es el sistema de edición¹².

3.3.11. LA ESTIMACION DEL TIEMPO

Estimar el costo, la duración, o el esfuerzo necesario para completar las diferentes actividades de un proyecto, es indudablemente una tarea que involucra visualizar el futuro en base a lo que uno sabe del pasado. Hacer el estimado del tiempo es una tarea bastante más difícil que para cualquier otro desarrollo de software. La exactitud en el cálculo está fuertemente correlacionada con el tipo de aplicación y la experiencia del director del proyecto. Si la aplicación es novedosa y no se tiene práctica en este tipo de desarrollos, las posibilidades de realizar el cálculo con precisión disminuyen. Además, generalmente, la comprensión que tiene el director del proyecto y el grupo de IC del conocimiento que se debe elicitar en la fase inicial del proyecto es muy vaga o superficial.

El director del proyecto debe realizar el estimado, utilizando su experiencia y considerando la dificultad y magnitud del proyecto. Posteriormente, y luego de completar algunos pasos de la siguiente etapa, debe revisar y refinar la estimación original. Generalmente, una vez que el proyecto comienza a desarrollarse, más información se obtiene de la naturaleza del trabajo que se está desarrollando. Además, existen elementos para evaluar si las estimaciones hechas en la etapa inicial son correctas o no (Berkeley et al., 1990). El esquema propuesto es el ideal. Sin embargo, para poder efectuarse de esta forma, se debe tener la aprobación de los patrocinadores. Para éstos, hay dos preguntas fundamentales que se deben responder correctamente: ¿cuál será la duración del proyecto?, y ¿cuál será el costo del mismo?.

La calendarización del proyecto genera información que permite dar una respuesta a estas interrogantes. La calendarización describe el ciclo de desarrollo para un proyecto en particular, enumera las etapas, señala los pasos de éstas, considera las actividades de cada paso, describe las relaciones entre etapas, pasos y actividades, y considera el tiempo de cada una de estas piezas de trabajo. La técnica PIMS PDCS (Leclerc, 1989) se puede utilizar con éxito para realizar este cálculo. La técnica se enfoca sobre los aspectos del proyecto en términos del tiempo (calendarización de tareas) y recursos -humanos o no- que se pueden asignar a las tareas de acuerdo a las habilidades o características requeridas (Berkeley et al., 1990).

3.3.12. LA ESTIMACION DEL COSTO

referencia, detallar los hechos siempre que sea posible, ser concreto, ser preciso y definir los términos utilizados, utilizar párrafos cortos, utilizar títulos y subtítulos, utilizar construcciones gramaticales y ortografía correcta.

¹² Las ventajas de un sistema de edición son las siguientes: la documentación siempre se tiene a mano, los documentos son fáciles de modificar y mantener, los documentos pueden tener un formato, los documentos se pueden analizar, los documentos se pueden compartir, se simplifica el empleo de los documentos, y es posible la recuperación automática de la información.

La estimación del costo del proyecto es una de las tareas más complicadas en el manejo de un proyecto. Esta generalmente ocurre en los inicios del mismo¹³. Existen numerosos factores que pueden afectar el estimado y diferentes técnicas para calcular el costo del proyecto. Sin embargo, no existe ninguna técnica específica para proyectos de adquisición del conocimiento. Respecto a los factores, los más importantes son *el software y hardware, y el personal*.

- a. *Software y Hardware*. En esta categoría se deben incluir los costos de software y hardware necesarios para completar la fase de AC. En el software se deben considerar: sistema operativo, compiladores, intérpretes, base de datos, paquetes gráficos, y otras herramientas necesarias para realizar la AC eficientemente. En el hardware se debe considerar: computadoras personales, procesadores front-end, impresoras, terminales, cintas, discos y otros dispositivos periféricos. Las comunicaciones requieren además de modems, líneas telefónicas, multiplexores y controladores. Por otra parte, se necesita de la infraestructura y el mobiliario necesario para instalar el hardware mencionado anteriormente.
- b. *Personal*. El salario del personal es el costo más importante en el desarrollo del proyecto. Una forma común de determinar el mismo consiste en estimar el esfuerzo requerido para realizar cada actividad, asignar el personal adecuado a cada *pieza de trabajo*, multiplicar el número de horas del personal por el salario correspondiente, y finalmente obtener la suma total. Si bien en teoría parece fácil de realizar, en la práctica tiene más complicaciones de lo esperado. Además cuando el personal es numeroso y la comunicación se establece entre varios participantes, los costos generalmente se incrementan al surgir nuevas líneas de comunicación. El grupo de trabajo debe además, tener *espacio* adecuado para poder realizar sus actividades eficientemente. Es recomendable que éste tenga las siguientes facilidades: luz, aire acondicionado, calefacción, teléfono, fotocopiadoras, etc. En un estudio realizado por DeMarco et al. (1985) se señalan las características que debe tener el espacio que ocupa el personal.

Respecto a la forma de realizar el estimado, considerando lo arriba mencionado, se sugiere utilizar *modelos experimentales y estáticos no-lineales*.

3.3.12.1. Modelos experimentales

Los modelos experimentales utilizan principalmente el juicio de un experto para realizar el estimado. La exactitud de la predicción depende de la competencia, experiencia, objetividad y percepción del experto que juzga. En muchas ocasiones el EH utiliza analogías. Por ejemplo, si el experto realizó el proyecto *q* que tuvo un costo *x*, y ahora tiene que realizar el proyecto *t* que es muy parecido a *q*, entonces presupone que los costos son similares. Generalmente los expertos hacen tres predicciones: *pesimista*, *optimista*, y *realista*. Si *pe* representa la pesimista, *op* la optimista, y *re* la realista; el costo del proyecto se obtiene aplicando la siguiente probabilidad de distribución beta:

FORMULA 3.3. Estimado del esfuerzo mediante la probabilidad de distribución beta

$$E = \frac{(pe+4re+op)}{6}$$

¹³ Generalmente un estimado inicial se realiza antes de que el proyecto inicie.

Se analizan e interpretan los resultados obtenidos en cada una de ellas.

La Técnica del Juicio Experto

La técnica del juicio experto se basa en la experiencia en el comportamiento anterior y en el sentido comercial de uno o más EC. Su funcionamiento es simple. El propio EC se llega a un consenso en el estimado. Esto tiende a minimizar fallas notables y la falta de facultad en particular, neutralizando las tendencias personales y estimándose discrecionalmente equitativa. La mayor desventaja de la técnica radica en el efecto que la dominancia interpersonal del propio EC puede tener sobre cada uno de los integrantes. Los miembros del propio EC pueden ser influenciados con respecto a factores de tipo político, motivacionales o de dominio de personalidad (Pacheco, 1994).

La Técnica de DELPHI

La técnica de DELPHI, propuesta en su forma original por Helmer (1960) es una variación de la técnica del juicio experto. Fairley (1994), más adelante, presenta una variación que permite aumentar la comunicación conservando el anonimato. Los siguientes son los pasos que se deben aplicar:

- El coordinador proporciona a cada EC la documentación con la definición del sistema y un papel para que escriba su estimación.
- Cada experto estudia la definición. El coordinador llama a una entrevista grupal con el fin de que los EC puedan analizar los aspectos de la valoración con él y entre ellos mismos.
- Los expertos terminan su estimación en forma anónima.
- El coordinador prepara un resumen de las valoraciones efectuadas sin incluir las identidades realizadas por algunos de los expertos humanos.
- El coordinador solicita una nueva estimación grupal para discutir las puntos donde se presenten mayor variación en las estimaciones.
- Los expertos efectúan una segunda ronda de valoraciones, esta vez en forma anónima. El proceso se repite tantas veces como se considere necesario.

Es posible que después de varias rondas de valoraciones se lleguen a un consenso. Sin embargo, el coordinador debe revisar cuidadosamente cada una de las valoraciones y hacerlas más precisas en las causas de tales discrepancias. Generalmente, se usan cuatro rondas de valoraciones. Cada estimación se considera, considerando las discrepancias de la técnica de 1994.

Generalmente, estas se realizan en forma grupal o individual por medio del juicio de los expertos. Estas valoraciones se realizan mediante el uso de cuestionarios y se hacen en consenso en el momento de la valoración. Se recomienda que se hagan en forma grupal y se hagan en forma individual. En una parte posterior se muestra una muestra de un cuestionario que debe ser utilizado. Este cuestionario es el que se debe utilizar en la valoración.

Este cuestionario se debe utilizar en la valoración.

Se analizan a continuación las técnicas experimentales más importantes.

La Técnica del Juicio Experto

La técnica del juicio experto se basa en la experiencia, en el conocimiento anterior y en el sentido comercial de uno o más IC. Su funcionamiento es simple. El grupo trata de llegar a un consenso en el estimado. Esto tiende a minimizar fallas individuales y la falta de familiaridad en proyectos particulares, neutralizando las tendencias personales y estimaciones demasiado optimistas. La mayor desventaja de la técnica radica en el efecto que la dinámica interpersonal del grupo puede tener sobre cada uno de los integrantes. Los miembros del grupo pueden ser inocentes con respecto a factores de tipo político, motivacionales o de dominio de personalidad (Fairley, 1994).

La Técnica de DELPHI

La técnica de DELPHI, propuesta en su forma original por Helmer (1966) es una variación de la técnica del juicio experto. Fairley (1994), más adelante, presenta una variación que permite aumentar la comunicación conservando el anonimato. Los siguientes son los pasos que se deben aplicar:

- a. El coordinador proporciona a cada EH la documentación con la definición del sistema y un papel para que escriba su estimación.
- b. Cada experto estudia la definición. El coordinador llama a una entrevista grupal con el fin de que los EH puedan analizar los aspectos de la valoración con él y entre ellos mismos.
- c. Los expertos terminan su estimación en forma anónima.
- d. El coordinador prepara un resumen de las valoraciones efectuadas sin incluir los razonamientos realizados por algunos de los expertos humanos .
- e. El coordinador solicita una nueva entrevista grupal para discutir los puntos donde se presentan mayor variación en las estimaciones.
- f. Los expertos efectúan una segunda ronda de valoraciones, otra vez en forma anónima. El proceso se repite tantas veces como se considere necesario.

Es posible que después de varias rondas de estimaciones no se llegue a un consenso. En este caso el coordinador debe recabar información adicional con cada participante y determinar con ellos las causas de tales diferencias. Posteriormente en una última entrevista grupal, debe alcanzar el consenso, resolviendo las diferencias en los puntos de vista.

Generalmente, todos los modelos experimentales están sujetos a inexactitudes por parte del juicio de los expertos. Estos predicen utilizando analogías con otros proyectos, y definen el estimado en términos de costos conocidos -principalmente de trabajos anteriores-. Sin embargo proyectos que pueden parecer muy similares, en la práctica pueden resultar completamente diferentes. Por otra parte, proyectos que parecen muy diferentes, pueden tener costos similares. Estos factores son los que originan las inexactitudes.

3.3.12.2. Modelos estáticos no-lineales

Un modelo de estimación estático no-lineal produce una ecuación de la forma:

FORMULA 3.4 Ecuación estática no-lineal

$$E = C_0 + \sum_{i=1}^n c_i x_i^{d_i}$$

donde cada variable x_i representa una característica del proyecto, y c_i y d_i son constantes que se deben derivar de un análisis de una base de datos que almacena información sobre proyectos complejos. Nelson hace ya algún tiempo, identificó cerca de 100 factores x_i que se podían tener en cuenta para la estimación. Se analizan a continuación los métodos estáticos no-lineales más importantes.

El Modelo COCOMO

El método más reciente que permite distinguir entre diferentes tipos de proyectos teniendo en cuenta el esfuerzo involucrado en cada uno de ellos, recibe el nombre de *COCOMO* (Boehm, 1981). El método permite predecir el tiempo de desarrollo, realizar la calendarización del proyecto y mostrar la descomposición del esfuerzo para cada actividad. Es un método híbrido que surge de la combinación de modelos experimentales y estáticos. El método se puede aplicar en forma básica, intermedia y avanzada¹⁴. En la fórmula de estimación se tienen en cuenta tres clases de proyectos¹⁵: orgánico, semiindependiente e incorporado. La fórmula para calcular el costo o más exactamente, el esfuerzo requerido para el desarrollo del software, se mide de esta forma:

FORMULA 3.5 Estimación del esfuerzo en el método COCOMO

$$E = aS^b$$

donde: E representa el esfuerzo requerido en término de personal necesario, a y b representan exponente y coeficiente, respectivamente, y S el número de instrucciones del proyecto (en miles). a y b fueron propuestos por Boehm considerando su experiencia, los costos de otros modelos, la opinión subjetiva de otros coordinadores de proyectos, y por prueba y error. La fórmula considera que una persona trabaja durante 152 horas en un mes. En la tabla 3.3 se presentan los valores de a y b para los diferentes tipos de proyectos, y además las ecuaciones de esfuerzo para estimar el

¹⁴ En este documento se presenta la forma básica.

¹⁵ **COCOMO: Tres clases de Proyectos.** Boehm (1981) sugiere tres clases de proyectos. Estos se describen a continuación:

- a. *Modo Orgánico.* Se trabaja en grupos relativamente pequeños, en un ambiente prácticamente familiar y desarrollando aplicaciones en las que el grupo tiene experiencia. La ineficiencia por comunicación es baja, los miembros del grupo conocen lo que hacen y pueden comprender con rapidez el trabajo.
- b. *Modo Semiindependiente.* Este modo representa una forma intermedia entre el modo orgánico y el incorporado. El grupo se compone de personal experto e inexperto. Los miembros generalmente tienen experiencias limitadas en proyectos similares y pueden desconocer por completo algunos aspectos del proyecto en desarrollo.
- c. *Modo Incorporado.* En este modo el grupo debe operar dentro de limitaciones estrictas. El proyecto generalmente es grande e involucra a diferentes áreas. Los requisitos son rígidos y muy difíciles de modificar. Generalmente el equipo de trabajo tiene muy poca experiencia en la aplicación que debe desarrollar.

tiempo de desarrollo de los proyectos. Por otra parte, la cantidad de personal necesario para el proyecto se calcula aplicando la fórmula 3.6.

TABLA 3.3. Valores del coeficiente y exponente en su forma básica

MODO	Coefficiente a	Exponente b	Fórmula
<i>Orgánico</i>	2.4	1.05	$T = 2.5 * E^{0.38}$
<i>Semiindependiente</i>	3.0	1.12	$T = 2.5 * E^{0.35}$
<i>Incorporado</i>	3.6	1.20	$T = 2.5 * E^{0.32}$

FORMULA 3.6. Cantidad de personal para el proyecto

$$CP = E / T$$

COCOMO en su forma básica permite estimar el esfuerzo, el tiempo de desarrollo del proyecto y el personal necesario para el mismo. Boehm sugiere que si no se utilizan prácticas o herramientas modernas para el desarrollo del proyecto, es necesario multiplicar el esfuerzo E por 1.24. Por otra parte, si el proyecto incluye la utilización de tecnología avanzada, E se debe multiplicar por 0.83. Los modelos intermedio y avanzado consideran factores diferentes respecto al tamaño y tipo de proyecto.

Finalmente, cabe señalar que la experiencia del director del proyecto es de fundamental importancia para seleccionar la técnica apropiada. El director del proyecto también puede utilizar, si los recursos disponibles se lo permiten, razonamiento basado en casos. De esta forma, puede comparar el proyecto en curso contra experiencias similares registradas.

3.3.13. LA DOCUMENTACION DEL PROYECTO

Se debe enfatizar que tres niveles diferentes de documentación se deben producir durante un proyecto utilizando KAMET: *el plan del proyecto, documentación de las etapas, y documentación de los modelos.*

El Plan del Proyecto

Después que todos los puntos de la primer etapa se han definido, el director del proyecto debe preparar un documento denominado *el plan del proyecto*. Este debe hacer explícita la definición formal del mismo. El documento no se debe actualizar con el avance del proyecto, a menos de que sea necesario. Es decir, que se detecten errores, inconsistencias, cambios fueran altamente recomendables, etc.

En la parte inicial del documento se deben presentar los objetivos, alcances y límites del proyecto. La descripción asegura que los diferentes grupos comprendan los logros por alcanzar, la forma en que se van a conseguir y los límites al espacio de soluciones del problema. Posteriormente se debe precisar quiénes son los UP y cuáles son los beneficios potenciales del proyecto. El plan debe señalar además las FC que intervendrán considerando la modularización del

conocimiento, los mecanismos de verificación y validación, así como las técnicas que se utilizarán para realizar la elicitación del conocimiento y el número inicial de sesiones. Finalmente se debe presentar el estimado del tiempo, el costo del proyecto, así como una calendarización detallada de las actividades involucradas.

La preparación del documento tiene dos objetivos principales. Le da la oportunidad al director del proyecto de revisar la definición global del proyecto y permite que los diferentes grupos conozcan formalmente la definición del mismo. Después de la escritura del documento, el director del proyecto debe distribuir una copia del mismo a los integrantes de los diferentes grupos. Una vez que el documento ha sido leído, el director del proyecto debe organizar una entrevista grupal. El objetivo principal de la entrevista consiste en asegurar y confirmar que *todos los grupos* han comprendido y aceptado el plan. Si existen observaciones sobre la definición de algún paso en particular, es aconsejable regresar al paso correspondiente, analizar nuevamente al mismo, realizar las modificaciones que procedan, y reformar el documento respectivo.

Documentación de las Etapas

La documentación de la etapa se desarrolla desde el inicio de la misma, y se completa conforme progresa la misma. En algunos proyectos, si la documentación de una etapa es demasiada extensa, se recomienda separar la documentación. Este tipo de documentos, generalmente son preparados por el grupo de IC con el aval del director del proyecto.

Documentación de los Modelos

La documentación de los modelos se desarrolla al inicio de la actividad de modelación, y se completa a medida que se avanza en los modelos. Básicamente, contiene información relativa al proceso de modelación. Este tipo de documentos, generalmente son preparados por el grupo de IC con el aval del director del proyecto.

3.3.14. MANEJO Y CONTROL DE LA PRIMER ETAPA

Los pasos y actividades de la primer etapa fueron definidos solo como una guía para el director del proyecto. Estos pueden variar o no llevarse a cabo de acuerdo a la aplicación y a la extensión y complejidad del proyecto. Los pasos y actividades no representan una secuencia inflexible que se debe seguir para todo proyecto. Sin embargo, se presentan algunas sugerencias sobre el manejo de la primer etapa que pueden resultar de interés. Estas se derivan no solo de experiencias obtenidas en la construcción de SBC, sino también de observaciones y recomendaciones hechas por otros investigadores (ver por ejemplo Breuker (1987)).

El análisis de la primer etapa se debe realizar preferiblemente en una forma casi secuencial. Existen una serie de pasos que están en cierta medida relacionados. Considerando esta

Capítulo 3. La Metodología para la Adquisición del Conocimiento.

observación, el análisis debe proceder a lo ancho¹⁶ y en forma cíclica. Esto permite el refinamiento sucesivo y la inclusión de resultados del análisis de tópicos relativos.

En la figura 3.3 se presenta un esquema alternativo para la definición de pasos. Se sugiere además, los grupos que pueden intervenir en los mismos. Es de observar que en esta gráfica se presentan todos los pasos.

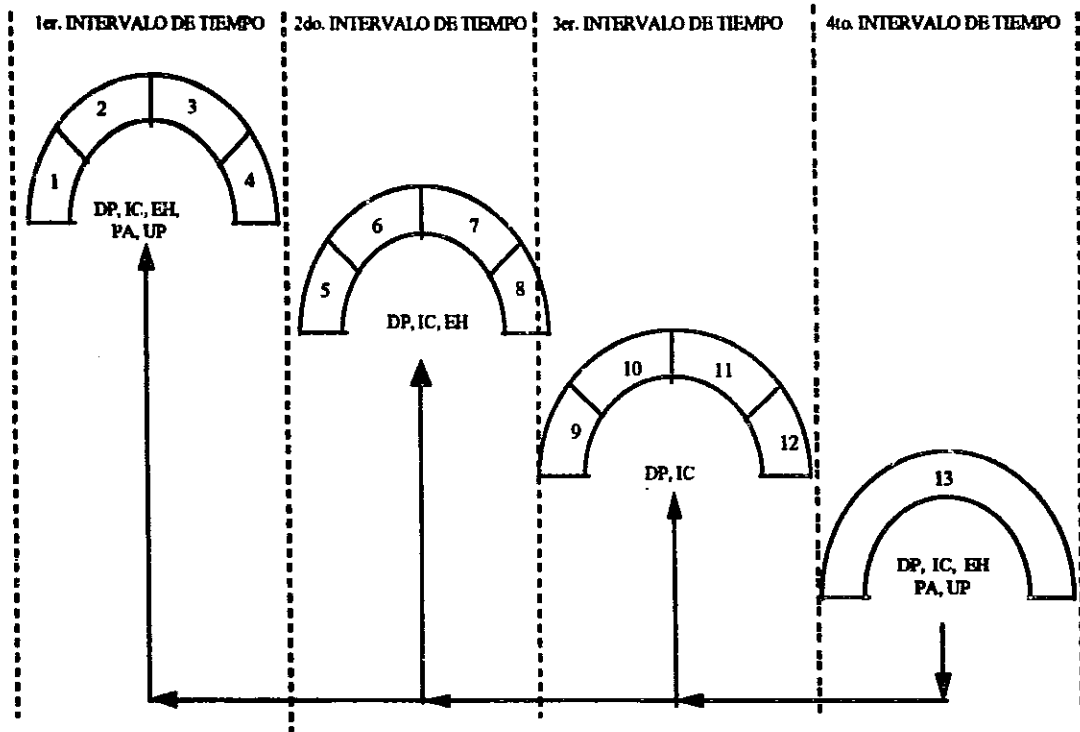


FIGURA 3.3. Alternativa para la definición de pasos y grupos que deben intervenir en los mismos.

En el esquema se sugiere que los cuatro primeros pasos se definan en forma simultánea, en entrevistas grupales en la que participen todos los grupos. En caso de que existan conflictos de intereses entre los participantes que impidan la cooperación, se recomienda realizar entrevistas individuales. Posteriormente, el director del proyecto en forma conjunta con el grupo de EH e IC, debe trabajar en los pasos 5, 6, 7 y 8. Después de que aparezcan resultados confiables sobre la definición de los pasos anteriores, se deben definir en forma simultánea los siguientes cuatro pasos. Finalmente, el director del proyecto debe elaborar un documento en el que especifique claramente la definición formal del mismo. Este se debe presentar y discutir posteriormente entre los representantes de los diferentes grupos. Si existen observaciones sobre la definición de algún punto, se sugiere regresar al paso correspondiente, analizar nuevamente al mismo, realizar las modificaciones convenientes, y reformar el documento respectivo.

¹⁶ El término correcto en inglés es breadth-first.

3.4. CONSTRUCCION DEL MODELO INICIAL

En la segunda etapa el grupo de ingenieros en conocimientos realiza la elicitación del conocimiento de las FCP y FCAD, y posteriormente construye el modelo inicial. Es la etapa que presenta los mayores riesgos. Estos se manifiestan, principalmente, porque las entrevistas involucran introspección y expresión verbal del conocimiento, lo cual resulta una tarea difícil para los humanos, especialmente para los expertos. Paradójicamente, se ha demostrado que cuanto más alto es el grado de conocimientos y experiencia de una persona más declina su habilidad para expresar el conocimiento. Además muchas de las estrategias que los expertos humanos utilizan para solucionar problemas son automáticas o implican intuición, consecuentemente no son disponibles para introspección. Es muy difícil para las FCA, en estos casos, formalizar los pasos que siguen para resolver la tarea y/o el problema. Por otra parte, si el lenguaje de comunicación entre el director del proyecto, el grupo de ingenieros en conocimientos y los expertos humanos no es claro, también puede ser causa de conflictos. La elicitación del conocimiento en este caso puede ser tediosa e ineficiente.

Los problemas señalados en el párrafo anterior son los que motivan a pensar en cierta inexactitud en la formulación del modelo inicial, y por esta razón, se sugiere realizar las dos siguientes etapas: *construcción del modelo retroalimentado* y *construcción del modelo final*. Se presentan a continuación los pasos que conforman la segunda etapa:

1. Realizar la elicitación del conocimiento de las FCP.
2. Realizar la elicitación del conocimiento de las FCAD.
3. Reestimar el tiempo del proyecto.
4. Construir la biblioteca de casos.
5. Desarrollar el modelo inicial.
6. Verificar y validar al modelo inicial.
7. Revisar y documentar al modelo inicial.

Se describen a continuación los pasos de la segunda etapa.

3.4.1. LA ELICITACION DEL CONOCIMIENTO DE LAS FCP

El director del proyecto y el grupo de ingenieros en conocimientos primeramente deben definir el plan a seguir y posteriormente realizar la AC de las FCP. Indudablemente, la elicitación del conocimiento tanto de las FCP como de las FCA se debe realizar en forma paralela. En la mayoría de los casos, el plan a seguir es común a ambas actividades. Para realizar la AC de las FCP se recomienda considerar lo siguiente:

- a. ¿Cuál es el material escrito disponible?. Existen libros de texto, artículos, manuales, catálogos o anotaciones en documentos de trabajo? Existe acceso continuo al material o existen restricciones?
- b. ¿Es necesaria la colaboración de FCAD para realizar la interpretación de los documentos?. Si la respuesta es afirmativa, hay que seleccionar a las FCAD que proporcionarán la ayuda para realizar el

Capítulo 3. La Metodología para la Adquisición del Conocimiento.

análisis de los documentos, el número y tipo de sesiones requeridas, y el método para el registro y documentación de las sesiones.

- c. ¿Existen bases de datos (BD) relacionadas a las diferentes áreas de trabajo? Si la respuesta es afirmativa, hay que considerar la forma en que se analizarán las BD -métodos estadísticos, inductivos, etc.-.

Luego de analizar correctamente el material disponible, el grupo de ingenieros debe realizar la elicitación del conocimiento de las FCP. La primer categoría de conocimiento que debe elicitarse, generalmente para cualquier proyecto de SBC, recibe el nombre de *Leyes del Dominio*. Esta categoría está constituida por: conceptos -definiciones simples de interés-, estructuras -formas de relacionar los conceptos o atributos de los conceptos-, relaciones -formas de asociar conceptos o estructuras-, y modelos -formas de agrupar las relaciones-.

Las leyes del dominio responden a una definición *estática y pasiva* del conocimiento. Estática en el sentido de que los hechos se presentan en forma neutral. Es decir, sin analizar los problemas que se pueden resolver con este conocimiento. Pasivo, en el sentido que el conocimiento se encuentra en manuales, catálogos, libros de texto, o cualquier otro material escrito.

La elicitación del conocimiento de las FCP consiste en un proceso de cuatro pasos: lectura general, entrevistas, análisis de las entrevistas y representación del conocimiento. Se describe brevemente a continuación cada uno de estos pasos.

- a. *Lectura General*. El IC debe comprender los conceptos que los expertos humanos manejan en el área de la aplicación y la terminología que utilizan para nombrar o describir estos conceptos. Debe leer introductoriamente libros de texto, manuales o cualquier otro material escrito que defina la terminología básica del dominio del conocimiento. Entender la forma en que los conceptos básicos se relacionan es de fundamental importancia (ver el *diccionario del proyecto*, sección 3.3.8)
- b. *Entrevistas*. Para elicitarse el conocimiento estático se recomienda utilizar entrevistas dirigidas, estructuradas, de tipo tutorial y repertory grid. Las tres primeras son de tipo conversacional (ver sección 3.3.10.1) y la última de tipo multidimensional (ver sección 3.3.10.3).
- c. *Análisis de las Entrevistas*. La forma más conveniente de evaluar la confiabilidad, validación y completitud de la información obtenida (ver sección 3.4.2.1) es analizando cuidadosamente las notas de las entrevistas. El resultado del análisis, puede incluso derivar en nuevas entrevistas con el experto.
- d. *Representación del Conocimiento*. El último paso de la AC de las FCP consiste en representar el conocimiento elicitado. La representación debe ser independiente del proceso de razonamiento e inferencia. La modelación del conocimiento se trata en forma detallada en el siguiente capítulo.

3.4.2. LA ELICITACION DEL CONOCIMIENTO DE LAS FCA

El director del proyecto en forma conjunta con el grupo de ingenieros en conocimientos debe definir correctamente el plan a seguir, y posteriormente realizar la elicitación del conocimiento de

las FCAD. Indudablemente el plan depende del número de expertos, de la composición del equipo de trabajo, y de la complejidad y magnitud del proyecto.

3.4.2.1. El plan para realizar la elicitación del conocimiento de las FCAD

El plan debe contener el conjunto de actividades necesarias para realizar la elicitación del conocimiento de las FCA. Debe especificar los recursos (humanos o no) asociados a esas actividades, restricciones y dependencias entre las mismas, así como una calendarización de éstas. Dependiendo de las diferentes áreas de trabajo, el tipo de conocimiento que se debe elicitar y la disponibilidad de los expertos, el ingeniero en conocimientos debe considerar además la técnica apropiada para cada entrevista, el número inicial de sesiones requeridas, los tópicos de discusión de las mismas, el método que aplicará para el registro de las sesiones, y la forma de documentar a éstas.

Un punto fundamental en la preparación de las entrevistas consiste en evaluar y asegurar el tiempo disponible para éstas. Como los expertos humanos son generalmente personas con múltiples compromisos y por lo tanto con mínimo tiempo disponible, es necesario que confirme con anticipación las sesiones necesarias y establezca para éstas una duración no mayor a una hora. El IC debe planear correctamente cada entrevista y previo a las mismas debe entregar a los participantes un documento denominado *organización de la reunión* (ver sección 3.3.1.). En éste, debe especificar y describir los puntos que serán tratados en la sesión. Indefectiblemente la organización de la reunión permitirá la adecuada preparación de los integrantes y por consiguiente aumentará la efectividad de la sesión.

Indudablemente, el IC debe estar familiarizado con los planes del proyecto y la terminología básica del dominio del conocimiento. Si no participó en la definición del proyecto, es recomendable que hable entonces con el director del proyecto y los ingenieros en conocimientos que participaron en esas sesiones. Es importante que comprenda la naturaleza de las relaciones entre los diferentes grupos. Si conoce los factores políticos asociados al proyecto, probablemente evitará formular cuestionamientos equivocados al experto. Tansley & Hayball (1993) señalan que hay cuatro puntos fundamentales que el IC debe recordar:

- a. Arreglar el número de sesiones con los expertos humanos .
- b. Asegurar que el tiempo disponible acordado sea suficiente.
- c. Considerar el tipo de conocimiento que debe elicitar y el tipo de entrevistas adecuado.
- d. Conocer la terminología básica del dominio en cuestión.

La Confiabilidad y Validación del Conocimiento

El conocimiento adquirido debe ser *confiable* y *válido*. Confiable en el sentido de que una adquisición similar siempre debe arrojar los mismos resultados. Válido en el sentido de que el conocimiento elicitado debe ser exacto. Aplicando entrevistas dirigidas y estructuradas, se logra una alta confiabilidad respecto al conocimiento adquirido. La validación, por otra parte, es más difícil de lograr. Hay procedimientos preventivos y correctivos, sin embargo, que el IC puede

Características de la Elicitación de Conocimiento (Elicitación)

utilizar para obtener el conocimiento solicitado. Estos venidos al mundo de *utilidad mecánica* e *identidad de comportamiento* (Tansley & Fayonall, 1993). Se refieren a *comportamiento de conductas mecánicas*.

1. **Validación mecánica.** El EE puede crear o *comportamiento de conductas mecánicas* (utilidad mecánica) que es difícil de verificar.
2. **Cambios en los modos de medición.** Tener la *identidad de comportamiento de conductas mecánicas* puede ayudar a *identificar* *comportamiento de conductas mecánicas* y *identificar* *comportamiento de conductas mecánicas*.
3. **Reglas de puntuación.** Las *funciones de discriminación* entre los *modos de conductas mecánicas* e *identidad de comportamiento de conductas mecánicas* para *evaluar* *comportamiento de conductas mecánicas* de la *identidad de comportamiento de conductas mecánicas*.
4. **Consenso.** Se *comportamiento de conductas mecánicas* de *comportamiento de conductas mecánicas* e *identidad de comportamiento de conductas mecánicas* de *comportamiento de conductas mecánicas*.

Las técnicas de elicitación de conocimiento por una parte son las siguientes:

1. **Identificación.** Estructurar los *modos de conductas mecánicas* e *identidad de comportamiento de conductas mecánicas* e *identidad de comportamiento de conductas mecánicas* e *identidad de comportamiento de conductas mecánicas*.
2. **Desambiguación.** Las *relaciones y comportamientos de conductas mecánicas* se pueden evaluar fácilmente cuando *comportamiento de conductas mecánicas*.
3. **Cambios lógicos.** Indicar al EE que *utilidad mecánica* e *identidad de comportamiento de conductas mecánicas* e *identidad de comportamiento de conductas mecánicas* e *identidad de comportamiento de conductas mecánicas*.
4. **Consenso.** El *comportamiento de conductas mecánicas* se puede adquirir de *comportamiento de conductas mecánicas* e *identidad de comportamiento de conductas mecánicas* e *identidad de comportamiento de conductas mecánicas*.

Relevancia, Primacía y Persistencia del Conocimiento

El *comportamiento de conductas mecánicas* debe ser *relevancia* para los *objetivos del proyecto* y debe estar *relevancia* con los *objetivos del proyecto*. Debe ser *relevancia* como para poder *relevancia* o *relevancia* a *relevancia* del *comportamiento de conductas mecánicas*. Además, debe tener una *persistencia duradera* en cuanto a *relevancia* e *identidad de comportamiento de conductas mecánicas*. Tanto la *relevancia* como la *primacía* y la *persistencia* del *comportamiento de conductas mecánicas* no se *relevancia* e *identidad de comportamiento de conductas mecánicas* en un *relevancia* absoluto. Esto depende *relevancia* del *relevancia* e *identidad de comportamiento de conductas mecánicas*.

La Completitud¹⁷ del Conocimiento

El *comportamiento de conductas mecánicas* puede ser *relevancia* y *relevancia* si se han *relevancia* e *identidad de comportamiento de conductas mecánicas* e *identidad de comportamiento de conductas mecánicas*. Sin embargo puede estar *relevancia*. Este es un *relevancia* en el *relevancia* del *comportamiento de conductas mecánicas*. La *relevancia* se puede *relevancia* por *relevancia* e *identidad de comportamiento de conductas mecánicas*: el *comportamiento de conductas mecánicas* puede *relevancia* que hay *relevancia* que no debe *relevancia*, el EE puede *relevancia* la *relevancia* e *identidad de comportamiento de conductas mecánicas* pero puede ser *relevancia* de *relevancia* e *identidad de comportamiento de conductas mecánicas* en forma *relevancia*. puede existir *relevancia* de *relevancia* e *identidad de comportamiento de conductas mecánicas* del *comportamiento de conductas mecánicas* por *relevancia* e *identidad de comportamiento de conductas mecánicas*, etc. Sin embargo, existen *relevancia* e *identidad de comportamiento de conductas mecánicas* que el IC debe *relevancia* e *identidad de comportamiento de conductas mecánicas* para *relevancia* e *identidad de comportamiento de conductas mecánicas* la *relevancia* e *identidad de comportamiento de conductas mecánicas* del *comportamiento de conductas mecánicas*. En *relevancia* e *identidad de comportamiento de conductas mecánicas*, la

¹⁷ Este punto no ha sido resuelto en su totalidad. La *relevancia* en general es un *relevancia* muy *relevancia* de *relevancia* e *identidad de comportamiento de conductas mecánicas* que *relevancia* e *identidad de comportamiento de conductas mecánicas* formas de *relevancia* e *identidad de comportamiento de conductas mecánicas*. Actualmente, se está *relevancia* e *identidad de comportamiento de conductas mecánicas* la *relevancia* e *identidad de comportamiento de conductas mecánicas* de *relevancia* e *identidad de comportamiento de conductas mecánicas* como una *relevancia* e *identidad de comportamiento de conductas mecánicas* de *relevancia* e *identidad de comportamiento de conductas mecánicas* mejor las *relevancia* e *identidad de comportamiento de conductas mecánicas* actividades. Esto *relevancia* e *identidad de comportamiento de conductas mecánicas* tendría *relevancia* e *identidad de comportamiento de conductas mecánicas* posteriormente un *relevancia* e *identidad de comportamiento de conductas mecánicas* efecto *relevancia* e *identidad de comportamiento de conductas mecánicas* directo sobre el *relevancia* e *identidad de comportamiento de conductas mecánicas* monitoreo del *relevancia* e *identidad de comportamiento de conductas mecánicas* proyecto.

Capítulo 3. La Metodología para la Adquisición del Conocimiento.

utilizar para validar el conocimiento elicitado. Estos reciben el nombre de *técnicas mecánicas* y *técnicas de comportamiento* (Tansley & Hayball, 1993). Se describen a continuación las técnicas mecánicas:

- a. Accesorios visuales. El EH puede crear y comparar representaciones visuales, para expresar el conocimiento que es difícil de verbalizar.
- b. Cambios en los modos de preguntar. Variar la forma de solicitar la información puede ayudar a identificar inconsistencias y permitir al experto expresar su conocimiento de la forma más natural.
- c. Reglas de puntuación. Una función de discrepancia entre los valores actuales y observados, se puede utilizar para recalibrar la evaluación después de la colección de la información.
- d. Consenso. Se combinan los datos obtenidos de múltiples expertos y posteriormente se obtienen medidas de peso con valores numéricos.

Las técnicas de comportamiento, por otra parte, son las siguientes:

- a. Estructuración. Estructurar las tareas y los métodos de adquisición ayudan al EH a identificar áreas propensas a producir datos inválidos y tomar acciones correctivas.
- b. Descomposición. Las relaciones y conceptos del dominio se pueden evaluar fácilmente cuando estos se descomponen.
- c. Cambios lógicos. Solicitar al EH que justifique el conocimiento, especialmente en áreas donde se considera que éste puede no ser válido, fuerza al experto a reconsiderar su razonamiento.
- d. Consenso. El conocimiento se puede adquirir de múltiples expertos. La retroalimentación de los diferentes expertos humanos promueve, generalmente, la negociación antes de alcanzar el consenso.

Relevancia, Primacia y Persistencia del Conocimiento

El conocimiento adquirido debe ser relevante para los fines del proyecto y debe estar acorde con los objetivos del mismo. Debe ser básico como para poder derivar o generar a partir del mismo, nuevo conocimiento. Además, debe tener una persistencia duradera en cuanto a relevancia, estructura y contenido. Tanto la relevancia como la primacia y la persistencia del conocimiento no se pueden aplicar en un sentido absoluto. Esto depende indudablemente del juicio, criterio, intuición, etc. del IC.

La Completitud¹⁷ del Conocimiento

El conocimiento puede ser confiable y válido si se han aplicado las técnicas apropiada, sin embargo puede estar incompleto. Este es un problema común en el proceso de elicitación del conocimiento. La incompletitud se puede presentar por diferentes razones: el experto puede considerar que hay detalles que no debe mencionar, el EH puede conocer la respuesta apropiada pero puede ser incapaz de transmitirla correctamente en forma verbal, puede existir falta de motivación del experto por diferentes razones, etc. Sin embargo, existen precauciones y técnicas que el IC debe tomar y considerar para lograr la completitud del conocimiento. En general, la

¹⁷ Este punto no ha sido resuelto en su totalidad. La completitud en general es un concepto muy difícil de manejar que requiere excelentes formas de evaluación. Actualmente, se está explorando la posibilidad de introducir estados como una forma de *controlar* mejor las diferentes actividades. Esto tendría posteriormente un efecto directo sobre el monitoreo del proyecto.

retroalimentación, el uso de técnicas multidimensionales y la adquisición de múltiples expertos pueden ayudar en ese sentido.

- a. **Retroalimentación.** Preguntar simplemente al EH si hay otros puntos que deban ser mencionados, puede permitir al experto ofrecer otros detalles que no había mencionado por considerarlos irrelevantes.
- b. **Técnicas Multidimensionales.** El uso de estas técnicas, las cuales implican una comunicación no verbal, puede permitir al EH expresar cierto conocimiento y al IC tener acceso al mismo.
- c. **Adquisición con Múltiples Expertos.** Llevar a cabo sesiones con múltiples expertos permite lograr una cobertura más amplia del dominio.

La Motivación del Experto

Otra razón que puede causar incompletitud de la información es la pérdida de motivación por parte del experto. Existen diferentes razones por las cuales un EH puede no cooperar totalmente con el proyecto. En muchos casos, el EH percibe que si proporciona todos sus conocimientos podría perder poder dentro de la organización, ser despedido, o bien ser reemplazado por el SBC. En otros casos, el experto humano no cree en este tipo de tecnología y por lo tanto no está dispuesto a invertir tiempo en un proyecto que piensa no tiene futuro.

Existen, sin embargo, ciertas precauciones que el ingeniero en conocimientos puede tomar para aumentar la motivación del experto. Es esencial que el ingeniero en conocimientos sea abierto, oriente al experto sobre el proyecto, lo introduzca en el proceso de elicitación del conocimiento, y lo prepare para las primeras entrevistas. Es recomendable que el IC explique al EH los objetivos del proyecto y le pase una copia del documento que describe la definición. Esto, principalmente, si el experto no participó en la definición del proyecto. Por otra parte, es importante que el IC le pase una copia de la agenda de la entrevista, le explique las actividades planeadas y el rol que jugará en las mismas. El experto debe *sentir* en todo momento que sus contribuciones son lo que permitirán alcanzar el éxito del proyecto.

3.4.2.2. La elicitación del conocimiento de las FCAD

Luego de preparar correctamente el plan para realizar la elicitación del conocimiento de las FCA, el ingeniero en conocimientos debe comenzar a realizar la misma. Debe observar la forma en que el EH resuelve las tareas y los diferentes mecanismos de razonamiento que utiliza. La elicitación del conocimiento es un proceso que involucra tres pasos: entrevistas, análisis de las entrevistas y representación del conocimiento.

- a. **Entrevistas.** Toda entrevista consiste en una interacción entre personas. Un grupo obtiene información realizando preguntas de manera directa o indirecta. El otro grupo, proporciona cierta información contestando estas preguntas, de manera directa o indirecta también. Toda entrevista tiene propósitos específicos. El IC debe comenzar la misma haciendo una introducción, preparada y ensayada, de un mínimo de 3 y un máximo de 5 minutos, orientando al grupo sobre los propósitos y procedimientos a seguir en la entrevista. El ingeniero en conocimientos debe aprovechar esta introducción para motivar, influir y persuadir a los integrantes. Posteriormente, debe realizar preguntas, o señalar direcciones, para que las FCAD proporcionen información acerca de la tarea, conceptos, estrategias y/o tipos de

Capítulo 3. La Metodología para la Adquisición del Conocimiento.

razonamiento que utilizan. Debe continuar explorando nuevas áreas, nuevos casos; y finalmente debe detectar el momento apropiado para concluir la sesión¹⁸.

- b. **Análisis de las Entrevistas.** La forma más conveniente de evaluar la confiabilidad, validación y completitud del conocimiento adquirido es analizando cuidadosamente las notas de las entrevistas. El resultado del análisis, puede incluso derivar en nuevas entrevistas con el experto.
- c. **Representación del Conocimiento.** La modelación del conocimiento se trata en forma detallada en el siguiente capítulo.

3.4.2.3. La forma en que el EH resuelve las tareas

El ingeniero en conocimientos debe comprender la forma en que el EH resuelve las tareas propias del dominio de conocimiento. Probablemente, dependiendo de la complejidad de éste y/o del área de aplicación, no pueda conocer todos los aspectos involucrados en este proceso de resolución. Sin embargo, debe comprender los detalles suficientes como para representar el conocimiento y razonamiento que utiliza el experto.

En muchas aplicaciones los expertos humanos se guían por principios científicos formales. Por ejemplo, un experto en problemas de *trouble shoot* en circuitos eléctricos, se guía por las leyes físicas de electromagnetismo. En este caso, cuando el IC finaliza la entrevista, debe poder juzgar si el experto fue capaz de realizar una descripción profunda y completa de los pasos que constituyen la tarea. En muchas otras aplicaciones, el proceso por el cual el EH resuelve una tarea está basado en la experiencia y habilidad obtenida a través de los años. Ante estos casos, el IC debe realizar y analizar cuidadosamente la validación y confiabilidad del conocimiento adquirido.

Una forma efectiva de identificar la forma en que el experto realiza las tareas es *discutir casos*. Un caso ilustra la forma en que el EH resuelve un problema. Un *conjunto de casos* ilustra una variedad de situaciones que el experto puede manejar (ver sección 3.4.4). A través de la discusión de casos el IC puede identificar: etapas y/o pasos de la tarea que ocurren infrecuentemente, etapas y/o pasos que son realizadas tan rápida o automáticamente que el EH puede olvidar mencionar, y circunstancias sobre las cuales las diferentes etapas y/o pasos de la tarea pueden ser apropiadas.

Scott et al. (1991) señala los objetivos que se deben seguir en el proceso de comprensión de las tareas y las actividades que se deben realizar para alcanzar tales objetivos (tabla 3.4).

¹⁸ **Como concluir una entrevista a tiempo:** Es importante saber como concluir una entrevista. Muchas reuniones se alargan indefinidamente y finalizan informalmente, cuando los integrantes del grupo se empiezan a excusar y retirar. Otro grupo de reuniones finalizan con una decisión apresurada (sin consenso). Ambos escenarios se pueden evitar observando las siguientes recomendaciones:

- a. **Dejar suficiente tiempo para concluir la entrevista.** Se debe considerar tiempo para presentar conclusiones, revisar temas discutidos o contestar preguntas. Es usual que en una reunión de una hora se dejen de 5 a 7 minutos para cubrir este punto.
- b. **Repetir los puntos de consenso.** Una buena reunión puede ser desperdiciada si los integrantes se van con ideas diferentes de lo que hay que hacer. Específicamente las acciones y decisiones acordadas deben ser registradas por el secretario, y luego es necesario que se distribuyan copias con los compromisos acordados a los miembros del grupo.
- c. **Concluir a tiempo.** Es responsable el coordinador de la reunión forzar a los miembros del grupo a terminar a tiempo.

TABLA 3.4. Comprensión de las tareas que realiza el EH

OBJETIVOS	ACTIVIDADES
<i>Comprensión de las Estrategias del Experto</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Discutir en detalle las acciones que el experto realiza para resolver las tareas. • Evitar interrumpir al experto en su explicación. Eludir cuestionamientos acerca del proceso de razonamiento. • Grabar la entrevista para un análisis posterior.
<i>Definición de las Estrategias del Experto</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Realizar una versión preliminar de alto nivel de la definición de estrategias. • Revisar los casos discutidos previamente y redefinir, si es necesaria, la versión preliminar. <ul style="list-style-type: none"> ◊ Obtener detalles acerca de las etapas de la definición. ◊ Identificar nuevas etapas. ◊ Definir circunstancias bajo las cuales las etapas son apropiadas. ◊ Dividir las etapas en subetapas.
<i>Análisis de la Generalidad de la Definición</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Discutir lo que el EH hubiera hecho si se hubieran presentado variaciones en los casos. Compare cada caso con otros similares y con alternativas hipotéticas. • Descubrir si el razonamiento del experto varía en casos similares. • Redefinir, si es necesario, el documento de la definición, para que éste se adapte a las variaciones del experto ante circunstancias diferentes.
<i>Definición de los Procedimientos del SBC</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Identificar acciones y/o etapas que realiza el EH y que el SBC no puede ejecutar. • Identificar etapas que el EH no realiza y son posibles de hacer por el SBC. • Recordar que el SBC <i>debe saber que hacer</i> en todas las situaciones en que se encuentre. Hay que anticipar situaciones improbables y especificar lo que el SBC debe hacer.

Los Diferentes Tipos de Tareas

Se pueden distinguir principalmente dos diferentes tipos de tareas que puede realizar un experto: *identificación y predicción* (figura 3.4). La identificación establece la identidad (tal vez el nombre o la clase) de un sistema¹⁹, algún aspecto de éste (tal como su comportamiento), o el estado²⁰ del mismo. La predicción cubre aquellas tareas que ayudan a determinar lo que le sucederá próximamente a, o entre, un sistema o modelo, en una situación dada.

¹⁹ Un sistema se define como un objeto complejo visto en términos de los elementos que lo componen y sus interconexiones.

²⁰ Un estado se define como un par ordenado (entrada, salida), y por algunas restricciones establecidas sobre la relación entrada-salida. El concepto de estado se utiliza frecuentemente en métodos de solución de problemas. Uno de estos métodos recibe el nombre de espacio-estado. El problema representado en el espacio contiene estados y operadores. Estos permiten cambiar de un estado a otro. Hay operadores válidos y prohibidos para los diferentes estados. El control se establece especificando como navegar a través del espacio-estado. La solución al problema se representa como una secuencia de operadores, que permiten cambiar desde un estado inicial a un estado final.

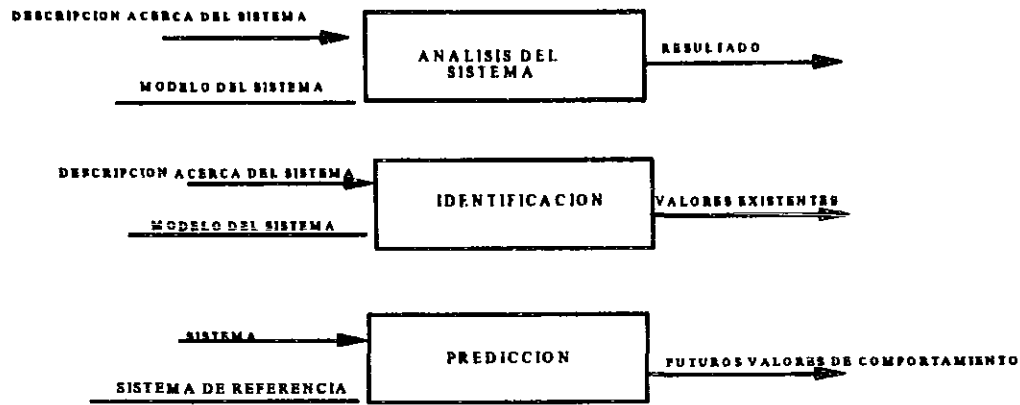


FIGURA 3.4 Principales tipos de tareas

La identificación se divide a su vez en: diagnóstico, verificación, correlación, monitoreo y clasificación. Mientras que la predicción se divide en predicción del comportamiento y predicción de valores (Tansley & Hayball, 1993). A continuación se presenta una breve descripción de los diferentes tipos de tareas:

- a. **Diagnóstico.** Esta permite localizar la causa de una diferencia en el estado observado o el comportamiento de un sistema, comparado con el estado o comportamiento esperado. Existe una relación cercana entre diagnóstico y clasificación. Esto implica que el diagnóstico puede ser utilizado en el rol de clasificación y viceversa.
- b. **Verificación.** Esta determina si una aseveración hecha sobre un sistema es consistente con (o al menos algunos de) los valores actuales observables del mismo. Es frecuentemente utilizada como un complemento de otro tipo de tareas.
- c. **Correlación.** Esta implica la comparación de dos entidades (sistemas), y genera resultados sobre la base de la comparación.
- d. **Monitoreo.** Esta tarea consiste en tomar medidas de algún aspecto de un sistema operacional y comparar las medidas con un modelo de referencia del sistema. El tipo de medidas, continuas o discretas, queda al margen del alcance de la tarea. Opcionalmente se pueden incorporar datos históricos para observar discrepancias entre el desempeño actual y el anterior.
- e. **Clasificación.** Esta consiste en categorizar un sistema, algún aspecto de éste (tal como su comportamiento), o el estado del mismo. Es una simple especialización de la tarea principal de identificación.
- f. **Predicción del Comportamiento.** Esta tarea consiste en analizar el estado actual del mismo y determinar su futuro. Para realizar la predicción se recomienda seguir las etapas que se presentan a continuación: realizar la abstracción del modelo del sistema, analizar el resultado de la descripción utilizando razonamiento cualitativo, y generar la descripción del comportamiento futuro del sistema.
- g. **Predicción de Valores.** Esta consiste en identificar los valores de las variables de un sistema en un determinado momento en el tiempo. El proceso comienza con un modelo informal del sistema, el cual es transformado en uno formal. Los valores deseados (generalmente cuantitativos) son derivados de este modelo formal.

En la figura 3.5 se muestran las entradas y salidas apropiadas para los diferentes tipos de tareas (Tansley & Hayball, 1993).

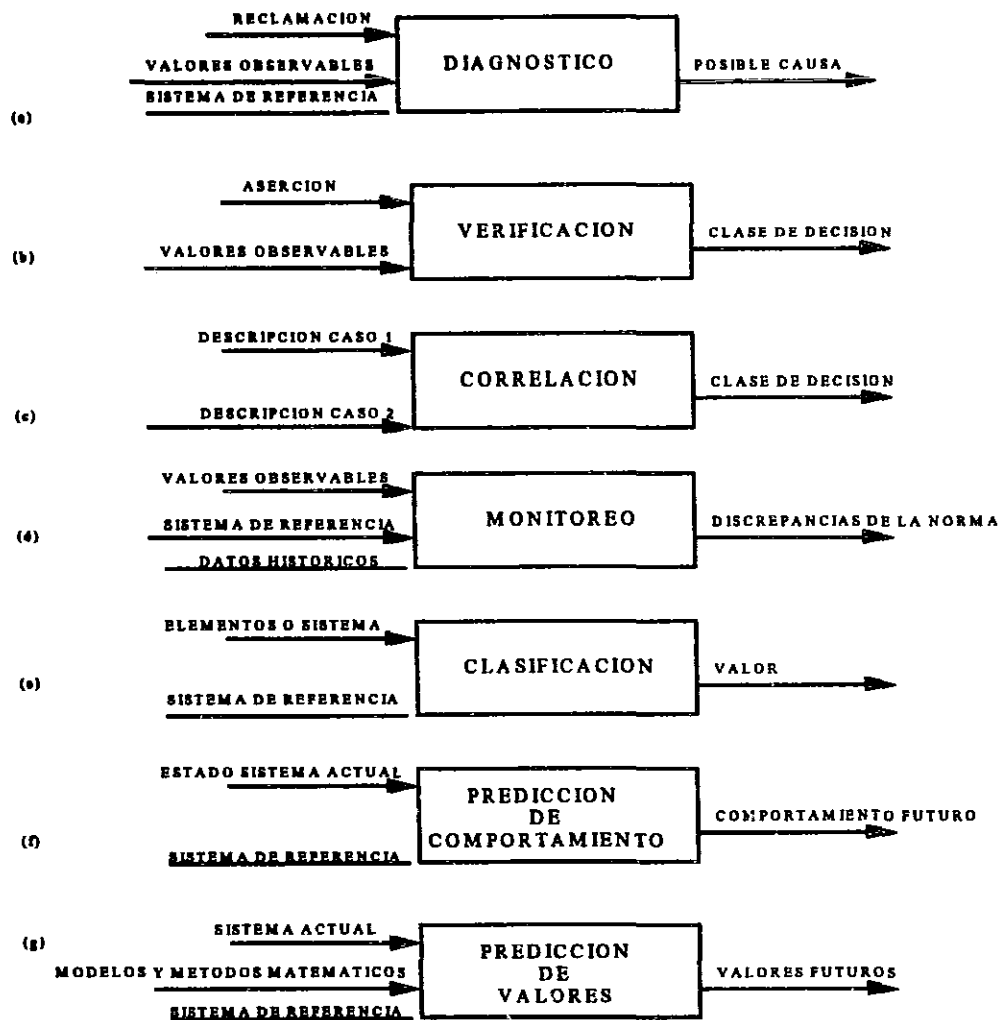


FIGURA 3.5 Entradas y salidas para los diferentes tipos de tareas

3.4.2.4. Los mecanismos de razonamiento del experto

Después que el ingeniero en conocimientos ha comprendido la forma en que el EH realiza las tareas, debe analizar el mecanismo de razonamiento que utiliza para resolver precisamente esas tareas. Es necesario identificar las conclusiones a las que llega el EH, el conocimiento que utiliza, y las condiciones que existen para que pueda llegar a esas conclusiones. Este proceso recibe el nombre de *inferencia*. Una inferencia especifica una condición y una conclusión a la que se puede llegar, si la condición resulta verdadera.

El razonamiento forma la base de toda actividad mental humana e involucra largas secuencias de inferencias pequeñas e individuales para llegar a una meta o solución. Cuando los seres

Capítulo 3. La Metodología para la Adquisición del Conocimiento.

humanos *razonan* combinan varios tipos de operaciones, dependiendo de las circunstancias. La elección del mecanismo de razonamiento depende de la información y el conocimiento que se tenga en el momento de hacer la inferencia (Guardati et al., 1993). A continuación se presenta una breve descripción de los mecanismos de razonamiento más importantes: lógico, sentido común, causal y omisión.

Razonamiento Lógico

El razonamiento lógico es la operación, por medio de la cual, un nuevo hecho (proposición, consecuencia o conclusión) se obtiene a partir de ciertas proposiciones dadas. La inferencia es el proceso que permite alcanzar conclusiones válidas partiendo de una serie de premisas. Se usará el siguiente esquema formal para representarlos (Caraca-Valente et al., 1992):

$$\begin{array}{l} (\forall x) H(x) \rightarrow G(x) : R \\ \underline{H(a) : H} \\ G(a) : HD \end{array}$$

donde R es la regla, H es un hecho conocido y HD es un hecho deducido. Existen cuatro tipos de razonamiento basado en la lógica: *deducción*, *inducción*, *abducción* y *retroducción*. Se describen brevemente a continuación:

a. *Deducción*. Es el proceso de derivar nuevos hechos o teoremas de una teoría, aplicando un conjunto de reglas de inferencia deductiva. Se emplea con frecuencia para llegar a soluciones particulares de problemas basados en juicios. La deducción no provee ningún conocimiento nuevo debido a que toda la información que se obtiene está contenida en las premisas. Sin embargo, utilizando la deducción, se pueden generar conclusiones que son verdaderas con absoluta certeza, siempre y cuando las premisas sean verdaderas. Algunas de las reglas deductivas son: *silogismos hipotéticos*, *modus ponens*, *modus tollens*. Ejemplos de SBC deductivos son: MYCIN (Shortliffe, 1976) y PROSPECTOR (Duda et al., 1979). El esquema formal de representación de este modelo es:

$$R, H \rightarrow HD$$

donde un hecho se deduce de una regla y un hecho conocido.

b. *Inducción*. Es el proceso de derivar hipótesis o reglas más generales a partir de hechos individuales conocidos, aplicando un conjunto de reglas de inferencia inductivas. La inducción provee nuevo conocimiento que no existe en las premisas, pero no se asegura que la conclusión sea verdadera. Si se parte de un conjunto suficientemente grande y diverso, se puede tener la seguridad de que la conclusión es válida, pero sólo para los hechos y descripciones que fueron originalmente planteados. Las reglas inductivas más comunes son: *generalización estándar*, *restricción de la conjunción*, *extensión de la disyunción*, *cerradura de intervalos* y *árbol de especialización*. Los SBC inductivos más importantes son: ID3 y sus sucesores (Quinlan, 1984) y AQ (Michalski, 1984). Su esquema formal de representación es:

$$H, HD \rightarrow R$$

donde a partir de una teoría y un conjunto de hechos se obtiene una regla.

c. **Abducción.** Es el proceso de inferir hipótesis que explican ciertas observaciones. Una hipótesis puede ser considerada como una explicación de uno o varios hechos si existe una relación causal entre ellos. La abducción provee nuevo conocimiento, aunque no se puede afirmar la veracidad del mismo. Este modelo se utiliza principalmente en diagnóstico médico, reconocimiento de planes, interpretación de discursos, lenguajes o datos científicos. Existen pocos sistemas abductivos. Entre ellos se encuentra DENDRAL (Buchanan et al., 1969). Su esquema formal de representación es:

$$R, HD \rightarrow H$$

donde a partir de una regla y la consecuencia de esa regla se llega a la premisa de la misma.

d. **Retroducción.** Se la puede considerar como una inducción de segundo orden. Consiste en la búsqueda de una ley general abstracta que corresponde a los datos experimentales. Si se toma cada regla acerca de un dominio y se aplica por segunda vez la inducción, se obtendrá una ley universal. No existe ningún sistema que pueda ser llamado retroductivo. Tal vez BACON (Piangley et al., 1983) es el sistema que más se acerca al modelo de retroducción.

Finalmente, cabe destacar que la *retroducción* es un proceso de inferencia para crear leyes científicas y teoremas generales, la *abducción* es un proceso que permite obtener nuevas hipótesis, la *inducción* confirma o rechaza esas hipótesis, y la *deducción* permite que esas leyes, teorías o hipótesis se usen. La inducción, la abducción y la retroducción generan nuevo conocimiento, pero éste no es formalmente válido, mientras que la deducción sólo reformula el conocimiento formalmente válido.

Razonamiento por Sentido Común

El sentido común es la facultad interior que tienen la mayoría de las personas para emitir juicios razonable acerca de las cosas. El sentido común involucra varios modos de razonamiento y una gran cantidad de conocimiento con interacciones complejas. La meta del razonamiento por sentido común es crear teorías de cada tipo de dominio (cantidad, tiempo, espacio, metas, planes, necesidades y discursos), establecer hechos prominentes de los dominios, describir la forma en que se usa el conocimiento, e implementarlo todo en un modelo.

Este tipo de razonamiento es importante porque muchas aplicaciones requieren razonar acerca del mundo físico (espacio, materia, tiempo, etc.), aunque se debe reconocer que de forma inexacta, ya que los hechos y reglas en los que se basa el experto son sólo aproximaciones a la verdad. Se describen a continuación los dos formalismos de razonamiento por sentido común más importantes: *razonamiento espacial* y *razonamiento temporal*.

a. **Razonamiento Espacial.** El razonamiento espacial consiste en la visualización de objetos y el razonamiento acerca de ellos, sin tener un conocimiento preciso de sus dimensiones. Los seres humanos parecen usar métodos espaciales para resolver problemas por analogía; por ejemplo cuando dibujan, imaginan dibujos, o razonan acerca de una gráfica. Sin embargo, poco se sabe acerca de esta habilidad. Un concepto clave en el razonamiento espacial es la representación cualitativa de objetos. Estos, se pueden describir de la siguiente manera:

Capítulo 3. La Metodología para la Adquisición del Conocimiento.

- **Descripciones parciales.** Los objetos se describen en términos de las partes que los integran. Típicamente estas descripciones emplean algún tipo de red asociativa.
- **Descripciones volumétricas.** Los objetos se describen como una combinación de volúmenes. Los volúmenes muchas veces se traslapan por lo que no designan partes diferentes de una forma completa. Las dimensiones, localizaciones y orientaciones relativas de los volúmenes se deben especificar.
- **Descripciones de límites.** Los objetos se describen por sus superficies limitantes, generalmente, planas.

El razonamiento espacial aún continúa en estudio. Las soluciones que se han propuesto no han logrado resolver en su totalidad el complejo manejo de la visualización de los objetos y el razonamiento acerca de ellos.

- a. **Razonamiento Temporal.** Es difícil encontrar un área de investigación dentro de IA en la que el tiempo no se vea involucrado de alguna manera en el proceso de razonamiento. Los sistemas de diagnóstico médico tratan de determinar, por ejemplo, en qué momento un determinado virus infectó al sistema sanguíneo. Los analizadores de circuitos razonan acerca del período sobre el cual la carga del capacitor se incrementa. Los programadores de robots deben considerar el momento en que éste se puede encontrar en dificultades durante el desempeño de una tarea. Hay, sin embargo, dos requerimientos que debe cumplir cualquier teoría basada en razonamiento temporal: *un lenguaje para describir lo que es falso y verdadero a través del tiempo*, y *un criterio de reglas de cambio*. El razonamiento temporal ha tenido una aplicación importante en la física cualitativa (Simmons, 1983) y actualmente se utiliza en planeación, aunque no se usa como mecanismo principal sino como un auxiliar en situaciones que requieren del manejo del tiempo. El razonamiento temporal aún continúa en estudio y las soluciones que se han propuesto no han logrado resolver en su totalidad el complejo manejo del tiempo.

Razonamiento Causal

El razonamiento causal consiste en hacer inferencias acerca del comportamiento de sistemas o mecanismos, con el propósito de explicar observaciones anteriores o predecir eventos futuros. Existen varios formalismos de este tipo de razonamiento, pero el más importante es el modelo de ligas causales.

En el modelo de ligas causales el conocimiento causal es modelado comúnmente como una red de nodos que representan estados o eventos de diferentes tipos y con ligas que representan una gran variedad de relaciones causales. El objetivo de la inferencia causal es activar los nodos adicionales necesarios para construir una red de estados y eventos, ligados en un patrón causal coherente. Los modelos de ligas causales dentro del razonamiento causal suponen la existencia de una base de conocimiento de estados potenciales, eventos y relaciones causales. El problema a resolver consiste en construir una subred causal coherente que corresponda a las observaciones disponibles. Además, existe una falta de habilidad para representar la estructura de un mecanismo y de derivar predicciones del comportamiento a partir de dicha estructura. Los SBC más importantes que utilizan modelos de ligas causales son CASNET (Weiss et al., 1978), ABEL (Patil et al., 1981) y CADUCEUS (Pople, 1980).

Razonamiento por Omisión

El término razonamiento por omisión se utiliza para patrones de inferencia que permiten sugerir conclusiones, aunque éstas no necesariamente se obtengan de las premisas. El razonamiento por omisión juega un papel importante cuando existe información inexacta y/o incompleta.

El razonamiento basado en *conocimiento incompleto* frecuentemente utiliza generalizaciones no universales para cubrir huecos en el conocimiento. Cuando se maneja dicha información generalizada se obtienen espacios de resultados mutuamente permisibles, donde las reglas de propagación de probabilidades son incompatibles con las inferencias realizadas mediante la lógica de predicados, cuyo dominio de resultados es mutuamente excluyente.

El *conocimiento inexacto* se maneja en los casos probabilísticos donde las probabilidades de los eventos se miden con base a la información de probabilidades básicas, conjunción de éstas, etc. El manejo de inexactitud en SBC implica el manejo de hechos que deben ser agregados para por ejemplo, determinar el grado en que las premisas de una regla dada son satisfechas, verificar la extensión en que las restricciones externas se cumplen, propagar la cantidad de incertidumbre a través de la aplicación de una regla dada, resumir los hallazgos dados por varias reglas o fuentes de conocimiento, detectar posibles inconsistencias entre varias fuentes, y para dar rangos a diferentes alternativas u objetivos.

Los contextos en los que se encuentra conocimiento incompleto a menudo contienen también conocimiento inexacto. Para modelar ambos se requieren varios mecanismos especializados de inferencia.

Comentarios sobre los diferentes Mecanismos de Razonamiento

Actualmente la investigación sobre los diferentes mecanismos de razonamiento que utilizan los expertos humanos en la solución de problemas, se encuentra en desarrollo. Aunque hasta la fecha no se ha encontrado un mecanismo o una combinación adecuada de estos, que pueda simular eficientemente la forma en que razonan los expertos; se han desarrollado modelos que pueden resolver problemas específicos. El razonamiento lógico es el más utilizado en el desarrollo de SBC, es muy sencillo de implantar y se adapta con mayor facilidad a diferentes campos de aplicación. Sin embargo, no necesariamente proporciona las mejores soluciones. Generalmente en todos los dominios de conocimiento, además de la lógica, se aplican otros tipos de inferencias.

3.4.2.5. La presencia de conocimiento inexacto e incompleto

Algunos expertos, dependiendo de la aplicación y magnitud del proyecto, realizan inferencias exactas. Es decir, proveen evidencias definitivas para las conclusiones a las que han arribado. Sin embargo, en la mayoría de las aplicaciones se utilizan inferencias heurísticas. Los expertos sugieren valores para las conclusiones, pero no presentan una evidencia para justificar las mismas. Estas conclusiones pueden tener una cierta medida de imprecisión o incertidumbre.

El conocimiento empírico que se posee sobre el mundo en situaciones reales, es con frecuencia incompleto y no permite llegar a las conclusiones necesarias para fundamentar las decisiones,

Capítulo 3. La Metodología para la Adquisición del Conocimiento.

planes o actos ya que no pueden ser descritos y resueltos por métodos probabilísticos o analíticos convencionales. Sin embargo, siempre se ha actuado a pesar de esta inexactitud o falta de conocimiento. Este problema es inherente a prácticamente cualquier dominio del conocimiento y es casi imposible de evitar en un modelo del mundo real. Debido a que toda persona que toma decisiones se enfrenta a este tipo de problemas, un SBC también debe ser capaz de manejarlos.

Para enfrentar la inexactitud, los humanos no usan un método único o global, sino que actúan dependiendo del contexto involucrado. Por otra parte, los SBC poseen una capacidad inferencial no trivial, y en general pueden realizar inferencias partiendo de premisas inciertas, imprecisas o incompletas. La base de conocimientos de un SBC es un almacén de conocimiento humano, inexacto por naturaleza. El conocimiento inexacto e imparcial proviene de diferentes fuentes y confunde a los diseñadores de los modelos. Algunas causas de la presencia de inexactitud son las siguientes:

- a. Inconsistencia en la opinión de diferentes expertos humanos .
- b. No siempre se cuenta con todo el conocimiento necesario.
- c. En ocasiones la información proviene de fuentes no del todo confiables.
- d. Errores de comunicación o interpretación entre el EH y el IC.
- e. Aleatoriedad de los eventos básicos en la toma de decisiones.
- f. Errores en los experimentos.

Se presenta a continuación la forma en que se divide el conocimiento que presenta problemas en su tratamiento:

- a. Conocimiento inexacto.
 - a.1. Conocimiento impreciso.
 - a.2. Conocimiento incierto.
- b. Conocimiento incompleto o parcial.

El conocimiento impreciso es aquel que contiene predicados y cuantificadores ambiguos, sus variables no reciben valores precisos sino que son especificados como pertenecientes a subconjuntos eventualmente difusos. La existencia de numerosas ambigüedades en el lenguaje natural provoca que las reglas de traducción a lenguaje simbólico no se apliquen en forma precisa, y esto ocasiona interpretaciones incorrectas debido al *matching* aproximado que se tiene que realizar entre hechos y premisas. Ejemplos de imprecisión son los siguientes: a) *la calidad del aire para el día de hoy se pronostica eventualmente mala*, y b) *en la biblioteca hay más de 125,000 volúmenes*.

El conocimiento incierto se presenta cuando no se puede determinar la verdad o falsedad de una afirmación, por lo que se tiene que considerar la probabilidad, posibilidad, grado de certeza, etc., de que la información sea verdadera o falsa. Esto se debe comúnmente a que los conceptos no están bien definidos o el conocimiento es inexacto. Además, se pueden tener inferencias débiles cuando el EH no es capaz de establecer una correlación concreta entre una premisa y su conclusión. Un ejemplo de información incierta es el siguiente: *la probabilidad de éxito de la operación es del 80%*.

El conocimiento incompleto o parcial se presenta cuando no se puede obtener toda la información requerida. Debido a esta carencia, se debe hacer un matching aproximado. Además, se debe aceptar el valor desconocido mientras se evalúa el grado de certeza de la premisa (Guardati et al., 1993).

Formas de Representar el Conocimiento Inexacto e Incompleto

A continuación se describen brevemente los formalismos más importantes para el tratamiento del conocimiento inexacto y parcial. Estos formalismos se dividen en *representaciones cuantitativas*, métodos numéricos, y *representaciones cualitativas*, métodos simbólicos. Las representaciones cuantitativas se dividen a su vez en: lógica monovaluada, lógica bivaluada y lógica multivaluada.

En las propuestas cuantitativas la lógica monovaluada es una de las más tradicionales y engloba a la lógica bayesiana, sus excepciones, y a los factores de certeza. Se utiliza generalmente para eventos aleatorios y medidas inciertas. La teoría probabilística impone fuertes restricciones al tipo y estructura del conocimiento. Esto provoca que sea impráctica para muchas situaciones complejas del mundo real.

La lógica bivaluada es más reciente y menos restrictiva. Permite conocer si una conclusión es deducida lógicamente a partir de la evidencia. Permite además la representación explícita de la ignorancia. Una de las propuestas más conocidas de esta lógica es la teoría de Dempster-Shafer (Shafer & Logan, 1987). Sin embargo, desde el punto de vista computacional, la propuesta es difícil de aplicar debido a la complejidad exponencial de los métodos involucrados.

La lógica multivaluada se basa en la lógica difusa y en la teoría de la posibilidad, donde las medidas de necesidad y posibilidad están definidas por proposiciones vagas (representadas por conjuntos difusos), y permiten la representación y el manejo de la imprecisión en el marco de la incertidumbre. Además, la teoría de la posibilidad permite la representación de cuantificadores difusos como la *mayoría*, *algunos*, etc., lo que proporciona una alternativa para enfrentar el razonamiento por omisión.

La lógica monovaluada y bivaluada produce una salida numérica precisa que es el resultado de un cómputo laborioso. Estas propuestas numéricas requieren de un nivel de precisión innecesario para justificarse en la mayoría de las situaciones no triviales. La facilidad que proveen las propuestas sobre lógica difusa es que permiten referirse a los términos lingüísticos por medio de intervalos difusos que expresan el parecido de hechos o reglas con aquellos con que se asocian. A pesar de que se permite expresar la incertidumbre en términos lingüísticos, la propuesta acarrea dificultades derivadas del hecho de que los intervalos difusos tienen como fundamento la representación numérica.

Dentro de las representaciones cualitativas se pueden distinguir la *teoría de endoso* y la *lógica no-monotónica*. Los métodos no numéricos se han enfocado principalmente al tratamiento de información incompleta y al manejo de excepciones. En todos estos métodos se cuenta con un

elemento de mantenimiento de la verdad que se utiliza para calificar proposiciones y que es propagado por la red de inferencia.

Si se tiene la opinión de múltiples expertos y éstas no coinciden, se debe uniformar de alguna manera el conocimiento, posiblemente asignando peso a sus contribuciones o haciendo experimentos propios. La solución de problemas derivados de manejar múltiples fuentes de conocimiento inconsistentes entre sí, se puede alcanzar aplicando la *teoría de endoso de Cohen* (Cohen, 1985), cuya idea principal es que la acumulación de evidencia puede llevar en ocasiones a derivar falsas conclusiones. El criterio para mantener sola la información relevante se basa en manejar razones para creer o no en una hipótesis.

La mayoría de los sistemas lógicos son monotónicos, i.e., si se adicionan más axiomas al acervo de conocimiento, el número de teoremas que se pueden probar aumenta. Sin embargo, la lógica no-monotónica funciona de otra manera, algunos teoremas se perderán con la introducción de nuevos axiomas. Esta lógica cambiante permite retractarse de algunas hipótesis que ya se habían considerado ciertas, en ocasiones basadas en el comportamiento general del fenómeno que se analiza y que pueden ser invalidadas por la llegada de información más reciente que describe mejor el fenómeno.

3.4.3. LA REESTIMACION DEL TIEMPO DEL PROYECTO

La estimación del tiempo del proyecto es una tarea bastante más complicada que para cualquier otro desarrollo de software. La exactitud en el estimado depende fuertemente de la complejidad de la aplicación y de la experiencia del director del proyecto en desarrollos de este tipo. En muchas situaciones, aún considerando la experiencia del director del proyecto y del grupo de IC, el estimado puede estar sujeto a errores. En parte, esto es lógico, porque en la fase inicial del proyecto la comprensión del conocimiento que se debe adquirir de las múltiples fuentes de conocimiento es muy vago o superficial. Como DeMarco (1982) apropiadamente señala: *"...estimates deal with the unknown, and the unknown has a perverse way of subjecting poor developers to all kinds of rude shocks. I know of only one thing that keeps these rude shocks to a minimum, and I shall take this opportunity to pass it on to you: Good Luck!.."*

En la primera etapa el tiempo del proyecto se estima considerando el tamaño, dificultad e importancia de las diferentes unidades funcionales que componen al dominio de conocimiento, y el número y tipo de entrevistas que hay que realizar; entre otros. Una vez que el proyecto se comienza a desarrollar, tanto el director del proyecto como los ingenieros en conocimiento incrementan su comprensión sobre el problema que intentan resolver. En la segunda etapa, el reestimado se calcula considerando los resultados alcanzados, los avances y los remanentes del proyecto. De esta forma se reducen al mínimo las posibilidades de error. Cabe recordar que para poder efectuar el estimado por incrementos se debe tener la aprobación de los patrocinadores.

3.4.4. LA BIBLIOTECA DE CASOS

Los expertos humanos muchas veces pueden tener dificultades para articular su conocimiento en forma apropiada. Las entrevistas involucran introspección y expresión verbal del conocimiento, lo cual resulta una tarea difícil para los humanos, especialmente para los expertos. Además, muchas de las estrategias que los expertos humanos utilizan para solucionar sus problemas, son automáticas o incorporan intuición. Consecuentemente estas estrategias no son disponibles para introspección. Finalmente, si el lenguaje de comunicación no es claro, la elicitación del conocimiento puede resultar ineficiente. Teniendo en cuenta estas circunstancias, el IC debe obtener conocimiento adicional a través del estudio de otras fuentes y de la observación detallada de cómo el experto soluciona un problema. Este es un proceso que si bien demanda tiempo y esfuerzo, presenta ventajas (Garben et al., 1995):

- a. Es más fácil y consume menos tiempo coleccionar y estructurar una biblioteca de casos que formular todas las interdependencias involucradas.
- b. La complejidad del conocimiento que se debe seleccionar y modelar se reduce.
- c. Es fácil leer ejemplos en conjunción con pequeñas piezas de información.

Los EH dependen, generalmente, en gran medida de su memoria de experiencias pasadas para resolver nuevos problemas. Es decir, razonan a partir de casos que corresponden a eventos reales más que a partir de reglas sustraídas de la experiencia. En esencia, el experto se convierte en este proceso en un *consejero* de modelamiento, en lugar de un *juez* específico de *cómo* y *por qué* suceden las cosas.

La formulación de un conjunto (biblioteca) de casos es de vital importancia para comprender las tareas que realiza el experto, para el diseño, desarrollo y la verificación y validación de los modelos. Un *caso* ilustra la forma en que un EH resuelve un problema. Un *conjunto de casos* ilustra una variedad de situaciones diferentes que el experto puede manejar. Una *biblioteca de casos* (Guardati, 1994) incluye *casos prototipos* del dominio y *casos excepcionales* del mismo. Los primeros representan aquellos casos que ocurren con frecuencia y que su solución es aplicable (quizás con alguna pequeña adaptación) a nuevas situaciones. Los últimos representan aquellos casos conflictivos, que comparten ciertas características con los casos prototipos, y que sin embargo requieren un tratamiento diferente por poseer algún atributo especial. Los casos deben ser proporcionados por los expertos humanos, aunque también se pueden obtener de los registros que conservan las organizaciones.

Los casos prototipos y excepcionales se dividen a su vez en *corrientes*, *históricos* e *hipotéticos*. En los casos corrientes, el IC observa la forma en que el EH resuelve un problema. Presentan la ventaja de que el ingeniero en conocimientos puede observar acciones que posiblemente el experto olvide de mencionar. Sin embargo, tienen la desventaja de que los casos no pueden ilustrar una variedad de aplicaciones, ni tampoco los casos más importantes. En los casos históricos el IC discute con el EH u obtiene de los registros de la organización, la forma en que el experto resolvió ciertos problemas en el pasado. La ventaja es que tanto el EH como los registros de la organización, almacenan los casos importantes y excepcionales. La desventaja es que como

ocurrió en el pasado, el EH puede no recordar ciertos detalles. En los casos hipotéticos el experto describe la forma en que resolvería una tarea en una situación hipotética. Son útiles cuando no existen casos históricos, es decir no hay suficiente material escrito sobre casos resueltos previamente. La desventaja de estos casos radica en que el EH no puede anticipar complicaciones que podrían ocurrir.

Los casos prototipos y excepcionales son necesarios para la construcción de la biblioteca de casos. Los casos históricos son los más valiosos porque reflejan una variedad de situaciones que se presentaron en el pasado, así como la forma de resolver estas situaciones. Los casos hipotéticos sólo son útiles cuando no existen casos históricos. Los casos corrientes son los menos significativos porque no ilustran una variedad de situaciones, ni tampoco los casos más importantes.

La participación de las fuentes de conocimiento activas dedicadas es imprescindible para la construcción de la biblioteca de casos. Las FCAD deben determinar los atributos que caracterizan a cada caso y ayudar al IC en la clasificación y selección de los mismos, de tal forma de incluir sólo los representativos de cada categoría. Por otra parte, a cada caso se le debe asignar un índice, considerando la descripción y los atributos del mismo. Este índice se utiliza para almacenar el caso y para recuperarlo posteriormente relacionándolo con casos semejantes.

3.4.5. LA CONSTRUCCION DEL MODELO INICIAL

En esta sección el grupo de ingenieros en conocimientos con el aval del director del proyecto debe construir el modelo inicial, uno por cada área de trabajo o subdominio del conocimiento. La actividad de modelación consiste primeramente del análisis y síntesis de conceptos pertenecientes a un específico dominio del conocimiento, y luego de su representación en un modelo conceptual. En el siguiente capítulo se presenta en forma detallada el método para la modelación del conocimiento.

3.4.6. VERIFICACION Y VALIDACION DEL MODELO INICIAL

El objetivo de la verificación y validación en la segunda etapa, consiste en *valorar* y *mejorar* la calidad del modelo inicial desarrollado aplicando los métodos cualitativos y/o cuantitativos, señalados en la etapa anterior. Se debe observar que el modelo expresa una representación o abstracción de la realidad y por lo tanto, la verificación y validación se deben evaluar conforme al rango de desempeño definido previamente. Si los resultados de esta observación resultan negativos, se sugiere regresar al paso anterior, o en su defecto a las dos primeros de esta etapa. Incluso, puede suceder que se detecten conflictos en los objetivos y/o alcances y límites del proyecto. Esto implicaría regresar al primer y/o segundo paso de la etapa anterior.

La verificación y validación implica la valoración del producto generado para determinar el apego a los requisitos, documentación desarrollada, principios generales de estilo, estándares del

lenguaje utilizado, estándares del proyecto, y expectativas de los usuarios potenciales, patrocinadores, expertos humanos, etc. En definitiva, se debe examinar que el modelo sea correcto, consistente y se apegue a los estándares previamente establecidos.

Los errores en un producto de software ocurren cuando cualquier aspecto del mismo es incompleto, inconsistente o incorrecto. Los casos más importantes de errores se producen en la definición de requisitos, en el diseño y en la implantación. En la fase de AC, se pueden presentar errores en la *definición de requisitos* y en el *diseño*. Los errores de requisitos ocurren, generalmente, por una especificación incorrecta de las necesidades de la organización y/o de los usuarios potenciales, por una especificación incompleta, inconsistencia entre los requisitos y/o requisitos no factibles. Los errores de diseño ocurren por fallas en la interpretación de los requisitos o en la traducción de los mismos a estructuras de solución correctas y completas, falta de comprensión de las estrategias de razonamiento que utilizan los expertos humanos, problemas en la modelación del conocimiento, y por inconsistencia en las especificaciones de diseño. Tanto los errores de definición de requisitos como los de diseño, son muy difíciles de localizar, pero se deben detectar en la fase inicial del proyecto.

3.4.7. REVISION Y DOCUMENTACION DEL MODELO INICIAL

El director del proyecto y el grupo de ingenieros en conocimientos deben mostrar a las fuentes de conocimiento activas dedicadas, que el modelo inicial expresa el conocimiento y razonamiento que los expertos humanos utilizan para la solución de tareas o problemas, en un determinado dominio del conocimiento. Deben explicar claramente a los mismos *cómo funciona* la representación utilizada, evitando confundirlos. Probablemente el modelo inicial tenga una representación correcta del conocimiento, aunque ésta seguramente difiera de la organización interna que tengan los EH.

El director del proyecto con la colaboración del grupo de ingenieros en conocimientos debe primeramente introducir y presentar el modelo inicial, y posteriormente motivar, persuadir e influir a las fuentes de conocimiento activas dedicadas para que critiquen al modelo, a través del intercambio de opiniones, conocimientos y experiencias. La siguiente es una lista de actividades útiles para el director del proyecto:

- a. Analizar la representación del conocimiento. Observar si es clara y flexible para las fuentes de conocimiento activas dedicadas.
- b. Mostrar a las FCAD cómo funciona el modelo. El director del proyecto puede correr un conjunto de casos, que le permitan explicar a éstas el comportamiento que sigue el modelo ante estos casos. Obtener la opinión de las FCAD sobre el desempeño del modelo. En caso que las respuestas no sean favorables, se sugiere preguntar a las fuentes de conocimiento activas dedicadas: ¿Qué está mal? -dónde falla el comportamiento, si hubo incompreensión de las estrategias de los EH, etc.-. Interrogar a las FCAD sobre la forma en que ellos resolverían esos casos. Preguntar además, si consideran a los mismos representativos de las tareas y/o problemas que resuelven, si conviene discutir nuevos casos, etc. En caso de que haya nuevos casos o modificaciones a los existentes, es necesario actualizar la biblioteca de caso.

Capítulo 3. La Metodología para la Adquisición del Conocimiento.

- c. Preguntar a las FCAD si consideran que el modelo concuerda con las especificaciones planteadas. Si las respuestas son negativas, sugerir a éstos que expresen qué está mal (especificaciones incorrectas, especificaciones incompletas, inconsistencia de las especificaciones, etc.).
- d. Mostrar a las FCAD la forma en que funcionará el SBC. Esto lógicamente dependerá de la aceptación parcial de los puntos anteriores.

Finalmente, cabe remarcar que el director del proyecto y el grupo de ingenieros en conocimientos deben completar la documentación de la etapa y del modelo inicial. La documentación de la etapa inicia con ésta y se va completando conforme la etapa avanza. La documentación de los modelos inicia con la actividad de modelación del modelo inicial y se considera completa cuando el modelo es desarrollado.

3.4.8. MANEJO Y CONTROL DE LA SEGUNDA ETAPA

Los pasos y actividades de la segunda etapa fueron definidos solo como una guía para el director del proyecto. Estos no se deben considerar como una secuencia inflexible que se debe seguir para todo proyecto. Sin embargo, se presentan algunas sugerencias sobre el manejo de la segunda etapa que pueden resultar de interés (ver figura 3.6).

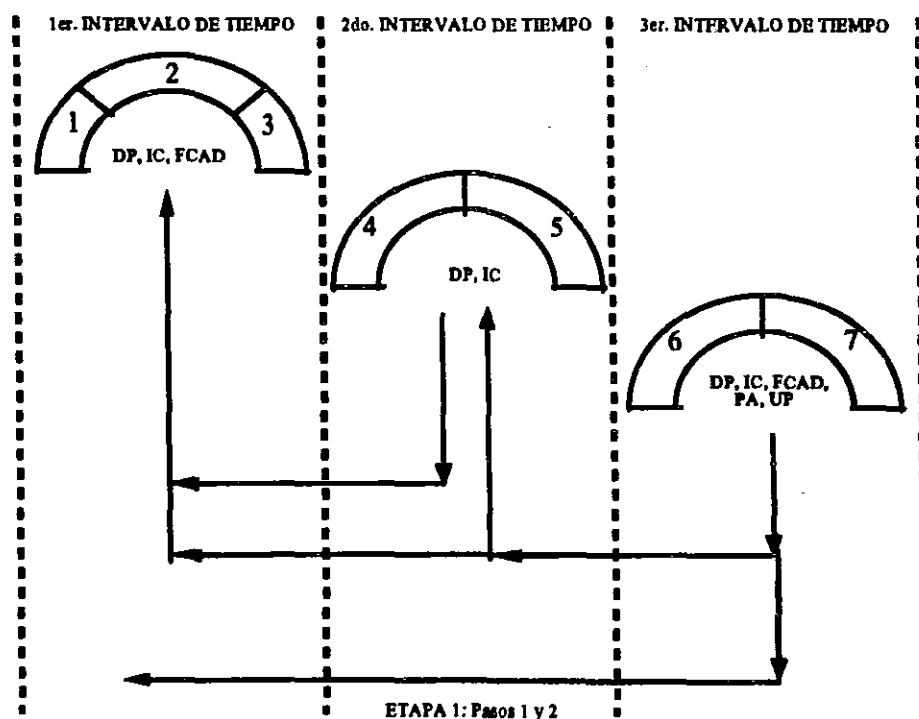


FIGURA 3.6. Esquema alternativo para completar los pasos de la 2da. Etapa.

El esquema sugiere que los tres primeros pasos se pueden realizar en forma paralela. Pueden intervenir en los mismos el director del proyecto, el grupo de IC y las FCAD. El director del proyecto y los ingenieros en conocimientos deben trabajar posteriormente en la restitución del

tiempo del proyecto y en la construcción del modelo inicial. Si existen dificultades en la formulación del modelo, seguramente es necesario regresar al primer y/o segundo paso de esta etapa. Finalmente, el director del proyecto, el grupo de IC y las FCAD deben trabajar en los últimos pasos. La participación de los usuarios potenciales y patrocinadores se recomienda en los dos últimos pasos. Si existen observaciones respecto al modelo inicial, dependiendo de éstas, se aconseja regresar al quinto paso, y/o en su defecto nuevamente a los dos primeros. Puede suceder incluso que se detecten conflictos en los objetivos y/o alcances y límites del proyecto. Esto implicaría retornar nuevamente al primer y/o segundo paso de la etapa anterior. Finalmente, se debe señalar que si el equipo de trabajo de expertos humanos está constituido por un sólo experto o por un grupo de éstos que trabajan en sucesión, entonces la fase de AC finaliza en esta etapa.

3.5. CONSTRUCCION DEL MODELO RETROALIMENTADO

En la tercera etapa, *construcción del modelo retroalimentado*, se obtiene la opinión de otros expertos (fuentes de conocimiento activas de consulta) en el dominio del conocimiento de la aplicación. El modelo inicial, construido en la etapa anterior, es distribuido entre las FCAC para que analicen al mismo, y transmitan sus ideas, sus experiencias, sus puntos de vista; con el objeto de retroalimentar a éste. Posteriormente, el director del proyecto, el grupo de ingenieros en conocimientos, y las FCAD, revisarán los modelos para observar los cambios introducidos a los mismos por las fuentes de conocimiento activas de consulta. Finalmente el grupo de ingenieros en conocimientos con el aval del director del proyecto construirá el modelo retroalimentado.

Los riesgos, al final de la etapa, deben disminuir, puesto que el nuevo modelo expresa ahora el saber de varios especialistas en el dominio de conocimiento. Cabe destacar la cooperación horizontal que se presenta entre los expertos en esta etapa. Cada miembro del equipo de trabajo obtiene soluciones a problemas sin depender de los otros expertos. Cuando se logra la colaboración de diferentes FCA generalmente se incrementa la confianza de la solución obtenida. Los pasos que conforman la tercera etapa son los siguientes:

1. Distribuir el modelo inicial o retroalimentado entre las FCAC.
2. Analizar el modelo inicial o retroalimentado por parte de las FCAC.
3. Construir el modelo retroalimentado.
4. Verificar y validar el modelo retroalimentado.
5. Revisar y Documentar el modelo retroalimentado.

Se presenta a continuación una descripción de los diferentes pasos.

3.5.1. LA DISTRIBUCION DEL MODELO ENTRE LAS FCAC

El IC debe distribuir el modelo inicial entre las fuentes de conocimiento activas de consulta, para que utilizando sus conocimientos y experiencia, analicen al mismo. El ingeniero en conocimientos

debe elaborar y entregar a las FCAC un documento en el que introduzca y presente el tema, explique la representación del conocimiento utilizada, estimule el intercambio de opiniones, conocimiento y experiencias entre los expertos, oriente a los mismos sobre el trabajo que deben realizar, guiándolos hacia los objetivos planteados. Es importante que las FCAC entiendan correctamente la representación utilizada y estén motivadas primero para analizar y luego para criticar la misma. Es muy valioso que los expertos señalen si la representación es exacta, completa, o consistente, si resuelve el problema adecuadamente, si es aceptable pero existen errores, si hay casos no contemplados, etc.

La distribución del modelo se realiza en dos oportunidades. Primeramente se distribuye el modelo inicial, posteriormente el modelo retroalimentado. En ambas oportunidades se utilizan técnicas no verbales para obtener la opinión de los expertos. Sin embargo, el tipo de técnica varía dependiendo de la *vuelta* a realizar. Las técnicas se explican en la siguiente sección.

3.5.2. EL ANALISIS DEL MODELO POR PARTE DE LAS FCAC

Las fuentes de conocimiento activas de consulta utilizando sus conocimientos y experiencia analizan a los modelos. En la primer vuelta, se utiliza la técnica de DELPHI (Helmer, 1966; Dalkey, 1967) para que los expertos opinan, transmiten sus ideas, resuelven problemas sobre el modelo inicial; escribiendo, principalmente, respuestas anónimas -si así lo desean- a cuestionarios preparados por el grupo de ingenieros en conocimientos. En la segunda vuelta, se utilizan las técnicas *del formato de la solución ideal* (Larson, 1969) y *el formato de Maier* (Maier, 1963), que permiten evaluar soluciones alternativas, en busca de la solución más efectiva, aproximada a la ideal. La técnica propuesta por Larson es apropiada para buscar la solución ideal. La misma es útil cuando se tienen diferentes soluciones alternativas y se pretende alcanzar la ideal o la que más se aproxime a ésta. La técnica propuesta por Maier es adecuada para evaluar dos o más ideas que están en competencia. La técnica es muy fina y permite reducir la polarización. Las técnicas se explican a continuación:

La Técnica de DELPHI

Esta técnica²¹, a diferencia de otras, no requiere de una entrevista *cara a cara*. Los participantes resuelven los problemas escribiendo respuestas anónimas (si así lo desean), a cuestionarios preparados y distribuidos por el grupo de ingenieros en conocimientos. Entre las ventajas de la técnica se mencionan las siguientes: la anonimidad de las respuestas previene influencias interpersonales, las respuestas escritas al cuestionario generalmente inducen y fuerzan a las FCAC a pensar claramente, es útil cuando el grupo no puede estar físicamente en el mismo lugar y al mismo tiempo, y el experto puede completar el cuestionario manejando su propio tiempo.

Cabe destacar, por otra parte, que se pueden presentar malentendidos si las preguntas o respuestas no son escritas claramente, las opiniones diferentes o desacuerdos entre los expertos

²¹ Los pasos del método fueron presentados en la etapa anterior.

humanos son muy difíciles de resolver en papel, y el tiempo que toma la técnica es notable, especialmente si lo consideramos en términos de calendario.

El Formato de la Solución Ideal

Esta es una técnica apropiada para buscar la solución ideal. La misma es útil cuando se tienen diferentes soluciones alternativas y se pretende alcanzar la ideal o en su defecto, la que se aproxime a ésta. Los participantes que utilicen el método deben responder las siguientes preguntas:

- a. ¿Están de acuerdo sobre la naturaleza del problema?
- b. ¿Cuál sería desde su punto de vista la solución ideal, si consideran la opinión de las diferentes partes involucradas en el problema?
- c. ¿Qué condiciones sugerirían cambiar para que se pudiera alcanzar la solución ideal?
- d. ¿De las soluciones disponibles, cuál es, desde su punto de vista, la que más se aproxima a la ideal?

El análisis de la *solución ideal*, anima a los participantes a examinar nuevamente el problema y soluciones, pero ahora considerando diferentes puntos de vista; esto lógicamente incrementa las posibilidades de *lograr* una buena solución. La técnica ha resultado particularmente efectiva para seleccionar la solución ideal de un conjunto de soluciones alternativas. También ha resultado muy útil cuando los expertos difieren en metas individuales y/o intereses. Además, cuando se presenta un claro conflicto entre dos facciones, cada una de las cuales defiende fuertemente diferentes soluciones, el método ha resultado una buena opción. El IC debe lograr que estas facciones presenten los pros y contras de cada una de las soluciones. Esto le permitirá finalmente evaluar los méritos relativos de cada propuesta e inclinarse por la mejor opción.

El Formato de Maier

La técnica es particularmente apropiada para evaluar dos o más ideas que están en competencia - soluciones alternativas-. Por ejemplo, considere que hay dos posibles soluciones para resolver un determinado problema: *A* y *B*. Con el *formato de Maier* se deben construir dos columnas, una para cada solución, y a su vez dividir cada una de ellas en dos subcolumnas llamadas ventajas y desventajas, respectivamente. Los proponentes de la idea *A* deben señalar alguna desventaja de ésta. Por otra parte, los oponentes de esta idea deben encontrar alguna ventaja a la misma. Después de realizar las actividades correspondientes a la idea *A*, las fuentes de conocimiento activas de consulta deben analizar la idea *B*. La técnica es muy fina para reducir la polarización; *fuera* a los expertos a examinar ambos lados de las ideas propuestas. Además, permite al IC *manejar* adecuadamente ideas que están en competencia, de una forma racional.

3.5.3. LA CONSTRUCCION DEL MODELO RETROALIMENTADO

El grupo de ingenieros en conocimientos debe construir el modelo retroalimentado integrando el conocimiento de las diferentes FCAC, que cooperaron en diferente grado y forma, para alcanzar la

Capítulo 3. La Metodología para la Adquisición del Conocimiento.

solución del problema. En el siguiente capítulo se presenta en forma detallada la propuesta para la modelación del conocimiento.

La Cooperación entre los EH

La solución de problemas distribuidos requiere generalmente de la integración de un grupo de agentes inteligentes, que cooperan entre sí para alcanzar la solución de estos problemas. Un experto humano no tiene en muchos casos todo el conocimiento, la experiencia y los recursos, en forma individual, para poder resolver ciertos problemas (Durfee et al., 1989). Por ejemplo, el diagnóstico y tratamiento de un paciente que presenta un caso muy complicado puede requerir de la cooperación de diversos especialistas. Una decisión militar puede requerir de la cooperación de múltiples fuentes de conocimiento en niveles diferentes.

Los métodos de cooperación incluyen la *negociación*, la *exactitud funcional* y la *estructura organizacional*. La negociación es una parte fundamental de la cooperación entre humanos que permite resolver conflictos que pueden interferir en el comportamiento cooperativo. La negociación involucra un intercambio de información entre las partes afectadas, la evaluación de la información por parte de los agentes que conforman el equipo de trabajo y un acuerdo final por selección mutua. La negociación intenta resolver el problema desde una perspectiva *top-down*. El método ha sido aplicado con éxito en problemas de control de tráfico aéreo (Cammarata et al., 1983).

La exactitud funcional sugiere que el intercambio de resultados parciales permiten converger en resultados correctos. A diferencia de la negociación, el método intenta resolver el problema desde una perspectiva *botton-up*. El método ha sido utilizado con éxito en la interpretación de sistemas distribuidos (Lesser & Erman, 1980).

La estructura organizacional permite el reconocimiento de la información y el control de las relaciones que existen entre los diferentes agentes. La técnica se ha aplicado en sistemas de monitoreo de vehículos (Lesser & Corkill, 1983) y para mejorar el desempeño de sistemas de producción distribuidos (Ishida et al., 1990). Se discute a continuación los diferentes tipos de cooperación (Zhang, 1992):

- a. Cooperación Horizontal. Esta se presenta cuando cada agente del equipo de trabajo puede obtener soluciones al problema sin depender de los otros expertos.
- b. Cooperación en Formal de Arbol. La cooperación en forma de árbol ocurre cuando un experto de un determinado nivel depende de EH que están en un nivel inferior, para poder solucionar su problema.
- c. Cooperación Recursiva. Esta se presenta cuando los agentes inteligentes mutuamente dependen uno de otro para poder encontrar la solución al problema.
- d. Cooperación Híbrida. En este caso para resolver un problema se utiliza alguna combinación de la cooperación horizontal, en forma de árbol o recursiva.

La Integración del Conocimiento de Múltiples Expertos

Una característica importante del proceso de elicitación del conocimiento de esta etapa consiste en integrar el conocimiento elicitado de múltiples expertos, adquirido de forma no verbal. La integración es una tarea propia del IC que involucra dos grandes retos. El primero consiste en adquirir el conocimiento de las FCAC. El segundo radica en alcanzar el consenso entre todos los expertos. El IC puede lograr estos objetivos realizando dos vueltas y aplicando técnicas diferentes en cada una de ellas. A su vez, debe construir dos versiones del modelo retroalimentado.

En la primer vuelta, con el objeto de adquirir el conocimiento de las FCAC se sugiere aplicar la técnica de DELPHI. El uso de esta técnica le permite obtener información individualizada sumamente útil para la construcción de la primera versión del modelo retroalimentado. En el cuestionario los expertos expresan sus ideas, opiniones, y puntos de vista, sobre el modelo inicial presentado. En proyectos con múltiples expertos existe la posibilidad de que los mismos estén en desacuerdo. Estos pueden tener diferentes opiniones o utilizar simplemente distintas estrategias para la solución de problemas. En campos tales como la medicina, las investigaciones cambian continuamente el cuerpo de conocimiento. Por otra parte, las investigaciones no siempre producen los mismos resultados. Esto refuerza el hecho de que en ciertas áreas los desacuerdos pueden ser frecuentes. Es recomendable que el IC cuente con una *autoridad máxima (FCAD)* que pueda decidir en caso de conflictos. Con estos antecedentes el ingeniero en conocimientos debe construir el modelo retroalimentado.

En caso de que observe soluciones alternativas propuestas por los expertos humanos, se recomienda realizar una segunda vuelta con el objeto de alcanzar el consenso entre las FCAC. Puede utilizar técnicas como *el formato de la solución ideal* o *el formato de Maier*. Estas permiten presentar soluciones alternativas en busca de la solución ideal o la que más se aproxime a ésta. Luego de recibir las respuestas al cuestionario presentado, el grupo de ingenieros en conocimiento con el aval del director del proyecto, debe construir la versión final del modelo retroalimentado.

3.5.4. VERIFICACION Y VALIDACION DEL MODELO RETROALIMENTADO

El objetivo de la verificación y validación en la tercer etapa, consiste en *valorar y mejorar* la calidad del modelo retroalimentado, aplicando los métodos cualitativos y/o cuantitativos, señalados previamente. Se debe observar que los modelos formulados expresan una representación o abstracción de la realidad, y por lo tanto la verificación y validación se deben evaluar conforme al rango de desempeño definido previamente.

3.5.5. REVISION Y DOCUMENTACION DEL MODELO RETROALIMENTADO

El director del proyecto y el grupo de ingenieros en conocimientos deben mostrar a las FCAD, que el modelo retroalimentado expresa el conocimiento y razonamiento que los expertos humanos utilizan para la solución de tareas o problemas, en el dominio de conocimiento de la aplicación. Deben explicar claramente a los grupos de fuentes de conocimiento activas dedicadas,

Capítulo 3. La Metodología para la Adquisición del Conocimiento.

patrocinadores, y dependiendo de la aplicación al de usuarios potenciales, *cómo funciona el modelo construido*. El director del proyecto debe primero introducir y presentar el modelo retroalimentado, y posteriormente motivar, persuadir e influir a los participantes para que critiquen al modelo, a través del intercambio de opiniones, conocimientos y experiencias. En la sección 3.4.7. se presentaron algunas actividades que el director del proyecto puede desarrollar para realizar esta revisión en una forma apropiada.

Finalmente, el director del proyecto y el grupo de ingenieros en conocimientos deben completar la documentación de la etapa y del modelo retroalimentado. La documentación de la etapa inicia con ésta y se va completando conforme la misma avanza. La documentación de los modelos inicia con la actividad de modelación del modelo retroalimentado y se considera completa cuando el modelo es desarrollado.

3.5.6. MANEJO Y CONTROL DE LA TERCERA ETAPA

Los pasos y actividades de la tercera etapa fueron definidos solo como una guía para el director del proyecto. Estos no se deben considerar como una secuencia inflexible que se debe seguir para todo proyecto. Sin embargo, se presentan algunas sugerencias sobre el manejo de la segunda etapa que pueden resultar de interés (ver figura 3.7).

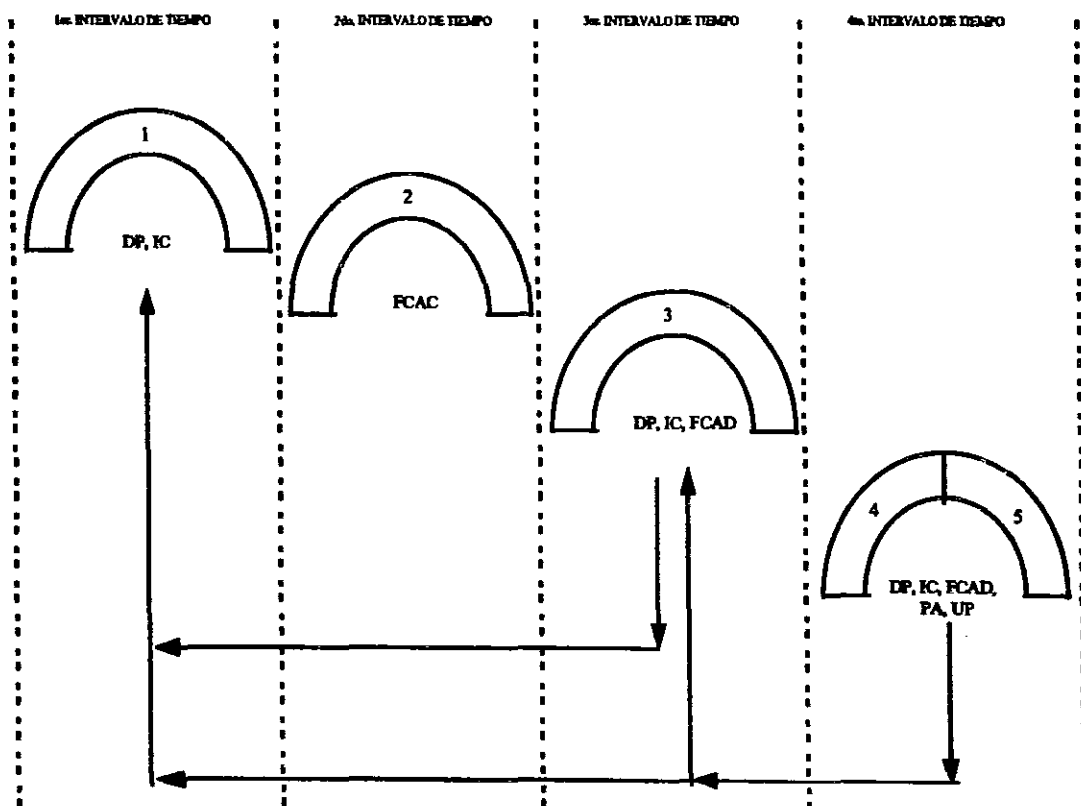


FIGURA 3.7. Esquema alternativo para completar los pasos de la 3er. etapa.

En la figura 3.7 se observa gráficamente el orden de realización de los pasos. Además se señalan los grupos que participan en éstos. El esquema sugiere que los tres primeros pasos se realicen en forma secuencial y los dos últimos en forma simultánea. Se sugiere además que los tres primeros pasos se realicen en forma cíclica (dos vueltas). En la primer vuelta se trata de obtener información individualizada. En la segunda se trata de lograr el consenso entre los expertos. Por otra parte, si luego de realizar los dos últimos pasos quedan ciertas dudas respecto al modelo obtenido, se sugiere regresar al tercer paso o en su defecto nuevamente al primero, cuyo caso implicará una tercer vuelta de consultas.

3.6. CONSTRUCCION DEL MODELO FINAL

En la última etapa las diferentes fuentes de conocimiento activas participan en una serie de entrevistas, coordinadas por el director del proyecto, para desarrollar al modelo final. La etapa se considera concluida cuando el modelo satisface los objetivos planteados con un alto grado de plausibilidad y/o no existe una fuente de conocimiento activa capaz de seguir transformando al mismo. Al finalizar la etapa la inexactitud en el modelo debe ser mínima, puesto que éste expresa ahora el saber de un grupo de EH que colaboraron en diferente grado y forma para alcanzar la solución del problema. Cabe destacar la presencia de cooperación recursiva en esta etapa. Se presentan a continuación los pasos que conforman la misma:

1. Analizar el modelo por parte de las FCA.
2. Construir el modelo final.
3. Verificar y validar el modelo final.
4. Revisar y documentar al modelo final.

Se presenta a continuación la descripción de los diferentes pasos.

3.6.1. EL ANALISIS DEL MODELO POR PARTE DE LAS FCA

El director del proyecto en forma conjunta con el grupo de ingenieros en conocimientos debe iniciar la cuarta etapa de la metodología explicando a las FCA que participan de la entrevista grupal, el comportamiento del modelo construido. Debe aprovechar esta introducción para motivar a los integrantes, para construir un clima permisivo, una atmósfera conducente a la participación de los expertos. Debe lograr el intercambio de ideas y opiniones sobre el modelo. Debe además observar las recomendaciones efectuadas para poder construir, finalmente, un modelo sólido, robusto, que satisfaga los objetivos planteados con un alto grado de plausibilidad. Las entrevistas grupales de la última etapa son especialmente importantes. En estas, el director del proyecto y el grupo de ingenieros en conocimientos deben lograr el *consenso* de las FCA sobre el comportamiento del modelo construido.

Capítulo 3. La Metodología para la Adquisición del Conocimiento.

Es altamente recomendable que el director del proyecto planee correctamente cada sesión y siga una agenda para el desarrollo de las mismas. La mayoría de los grupos utilizan alguna versión de lo que ha sido llamada la agenda estándar. La técnica del grupo nominal, por otra parte, es una agenda que se puede utilizar en todas las fases de la discusión, desde la identificación del problema hasta la generación de soluciones. Además, si los recursos lo permiten el director del proyecto puede utilizar reuniones electrónicas²² (RE). Una RE tiene por objetivo hacer las reuniones grupales más efectivas utilizando tecnología de la información. Se presentan a continuación una descripción de la agenda estándar, la técnica del grupo nominal y las reuniones electrónicas.

3.6.1.1. La agenda estándar

En toda entrevista y/o para el proceso de la toma de decisiones, la mayoría de los grupos utilizan alguna versión de lo que ha sido llamada la *agenda estándar*, propuesta por Dewey en 1910 (Mosvick et al., 1985). La agenda está basada en investigaciones de como opera la mente en la resolución de problemas. A continuación se definen los puntos que componen la agenda:

- a. *Definir y limitar el problema.* Los grupos, generalmente, no invierten suficiente tiempo para identificar, definir y limitar el problema en su totalidad. Consecuentemente, las premisas o decisiones son adoptadas con poco análisis, incrementando la posibilidad de alcanzar pobres soluciones.
- b. *Analizar el problema.* Cuando no se define y limita el problema adecuadamente, existe el riesgo de enfocarse en el análisis en aspectos superficiales del problema o en los síntomas más recientes de éste. Existe también la tendencia de aceptar la descripción del problema presentado por el director del proyecto como correcta. Esta deficiencia analítica radica en la tendencia de los grupos de ignorar la definición y análisis del problema, y saltar directamente a la solución del mismo.
- c. *Establecer criterios o estándares para evaluar las soluciones.* Estudios realizados con grupos de negocios, profesionales y/o académicos, demuestran que nunca consideran este punto. La ignorancia del mismo puede provocar confusión, conflictos y/o pérdida de tiempo, entre otros. Los criterios por los cuales la solución se puede considerar efectiva o ineficiente, se deben establecer después de definir y analizar correctamente el problema, y previo a la discusión de soluciones.
- d. *Explorar soluciones alternativas.* La tendencia a utilizar o aceptar la primera solución que se presenta es muy común. Una manera de evitar que esto suceda es desarrollar una estrategia de solución. La misma se debe crear sin tomar en cuenta aspectos de factibilidad, puesto que no se puede ser creativo y crítico al mismo tiempo. Es necesario considerar además todos los factores externos, de tal forma de poder generar caminos alternos. Es recomendable considerar varias soluciones antes de tomar en cuenta alguna en particular. Generalmente la composición de ideas puede generar la mejor solución. Esta, frecuentemente, aparece después de que se enumeran todas las posibles soluciones.
- e. *Seleccionar la solución más efectiva.* Los integrantes del grupo deben buscar la solución ideal, analizando diferentes técnicas para la toma de decisiones (ver sección 3.5.2).

3.6.1.2. La técnica del grupo nominal

²² El nombre original es *Electronic Meeting Systems* (EMS).

La técnica del grupo nominal (Delbecq et al., 1975) se puede utilizar en todas las fases de la discusión, desde la identificación del problema hasta la generación de soluciones. Es una técnica que permite que los integrantes de la reunión se involucren rápidamente en el contexto del problema, trabajen sobre él, y propongan soluciones. Permite además que el grupo alcance rápidamente el consenso sobre la importancia relativa de los diferentes aspectos del problema y/o soluciones. La técnica está basada en investigaciones que muestran que los grupos producen más y mejores resultados cuando trabajan *cara-a-cara*, que cuando los agentes lo hacen individualmente. La técnica del grupo nominal se considera muy útil para el proceso de la toma de decisiones porque permite ahorrar tiempo, involucra a los participantes rápidamente en la discusión, e incrementa la posibilidad de alcanzar un acuerdo sobre la importancia de los elementos de la discusión. Los pasos que conforman la técnica son los siguientes:

- a. Los miembros del equipo de trabajo deben escribir en forma individual respuestas a las preguntas establecidas por el coordinador de la entrevista grupal.
- b. Cada participante establece oralmente una idea. El coordinador debe escribir en algún lugar visible las diferentes propuestas expresadas.
- c. El coordinador de la entrevista debe leer cada idea y realizar preguntas a los participantes con el objeto de clarificar las mismas.
- d. El coordinador de la entrevista debe distribuir un formulario con las ideas previamente establecidas. Los EH, en forma anónima, deben asociar a cada idea un número específico que exprese prioridades, con el objeto de ranquear las mismas. Se recogen los formularios y se realiza la tabulación. Sólo deben quedar las nueve ideas más importantes.
- e. El grupo discute los votos preliminares. Si se presentan discrepancias generalizadas, se debe abrir una nueva ronda de discusión. El coordinador de la entrevista debe incorporar o eliminar las ideas correspondientes. Hay que regresar nuevamente al paso anterior, para que los participantes señalen nuevamente prioridades.
- f. Se debe realizar una última votación.

La técnica es útil para identificar los elementos de un problema, los elementos de la solución, y/o para establecer prioridades de las diferentes soluciones alternativas. La principal desventaja de la técnica radica en que no se puede resolver más de un problema al mismo tiempo. Hay que considerar además, que el tiempo que se debe invertir, es prácticamente el mismo para problemas de complejidades diferentes. Por lo tanto, es probable que la técnica no sea apropiada para ser aplicada a problemas simples.

3.6.1.3. Reuniones electrónicas

Las reuniones electrónicas tienen como objetivo hacer las reuniones grupales más efectivas utilizando tecnología de la información (Cairó & Brodershon, 1996; Nunamaker et al., 1993; La Salle & Medsker, 1991). Generalmente, se llevan a cabo en salas preparadas con una red de estaciones de trabajo, acomodadas en forma de U alrededor de una mesa, con una gran pantalla enfrente de la habitación desde dónde el coordinador guía la reunión, con equipos de audio y video, etc. Los participantes tienen la posibilidad de realizar consultas externas y hacer uso de un espectrum de técnicas estructuradas o no, para realizar su trabajo eficientemente. Las reuniones, usualmente, se llevan a cabo *cara-a-cara*, es decir en el mismo lugar y al mismo tiempo, o de

manera *distribuida*, diferente lugar y diferente tiempo. En la tabla 3.5 se presentan las diferentes modalidades.

TABLA 3.5. Diferentes tipos de reuniones

	MISMO TIEMPO	DIFERENTE TIEMPO
MISMO LUGAR	<i>cara-a-cara interactiva</i>	<i>asíncrona interactiva</i>
DIFERENTE LUGAR	<i>síncrona interacción distribuida</i>	<i>asíncrona interacción distribuida</i>

Una RE trata de evitar los problemas que se presentan generalmente en toda reunión grupal. Básicamente, seis factores se asocian a la ineffectividad de las reuniones tradicionales:

- a. Pérdida del tema u objetivo de la reunión, 16%.
- b. No existen metas o agendas, 15%.
- c. Son demasiado largas, 14%.
- d. Existe una pobre o inadecuada preparación, 7%.
- e. Son muy desorganizadas, 7%.
- f. No se llega a establecer conclusiones, 7%.

Las entrevistas grupales, que aparecieron en un principio como un medio para compartir información y tomar decisiones, no son tan efectivas como se podría suponer. Estudios realizados por Mosvick & Nelson (1987) demuestran que en una típica reunión grupal con 15 integrantes, de una hora de duración, cada miembro del grupo tiene la oportunidad de participar durante 4 minutos. Esto, sin considerar que sólo el 80% del tiempo es efectivo para la comunicación, puesto que el 20% restante se desperdicia en mutuo silencio, o bien porque dos o más integrantes hablan en forma simultánea. Tampoco se considera que el coordinador, generalmente, tiende a dominar el grupo y ocupa el 50% del tiempo. Si luego de este breve análisis consideramos el tiempo de comunicación de los integrantes, se puede observar que cada miembro del grupo puede participar efectivamente durante 1.6 minutos. Con el soporte de las computadoras, ahora los integrantes tienen 60 minutos para comunicarse. Esto desde luego representa un incremento considerable. Además los comentarios de los participantes pueden ser anónimos, y éste es otro de los incentivos para hablar.

Para evaluar la efectividad de una reunión electrónica se realizaron análisis sobre la calidad de la sesiones y los resultados obtenidos. La eficiencia de la tecnología RE se examinó considerando los costos y beneficios relativos de la organización, con respecto a realizar las funciones en forma manual. El nivel de satisfacción de los usuarios, se evaluó considerando diferentes factores, cuestionarios, entrevistas individuales y grupales (Cairó & Brodershon, 1996; Nunamaker et al., 1993).

Una reunión electrónica promueve la sinergia, la estimulación, la anonimidad, el aprendizaje y una evaluación más objetiva. Las desventajas, básicamente, son problemas habituales asociados a reuniones, como el tiempo desigual de discusión, el bloqueo de concentración, el bloqueo de

atención, la aprensión a la evaluación negativa y la dominación por parte de alguno de los integrantes, entre otras (Nunamaker et al., 1993).

3.6.1.4. La forma en que los grupos toman decisiones

Una decisión es un dictamen, es elegir entre dos o más formas de actuar. Es una elección de medios alternos mediante los cuales se llega a un objetivo. El proceso de decisión se debe contemplar como una serie de pasos, que comprenden la oportunidad de decisión, la indagación, la elección de una alternativa y finalmente la decisión. Ninguna forma de decisión se puede dejar librada al azar. Las técnicas de decisión necesitan, por lo tanto, para llegar a encontrar la forma justa o correcta de proceder, de los siguientes pasos, los cuales suministran un conjunto de datos para elaborar una recomendación para actuar:

- a. Previsión de posibles acciones, consecuencias y probabilidades asociadas, lo cual constituye el sistema de predicción.
- b. Determinar un sistema de valores que permita adoptar un criterio para decidir.
- c. Construir un sistema objetivo de elección, o sea, el criterio de selección.

Los tres pasos citados constituyen el factor de decisiones, los cuales suministran un conjunto de datos para elaborar una recomendación para actuar. A continuación se presentan los métodos más importantes que se utilizan para la toma de decisiones.

- a. *La decisión autoritaria.* Es una de las prácticas más utilizadas (figura 3.8). El líder del grupo toma la decisión con mínimas aportaciones del resto de los participantes. La ventaja de esta técnica es la velocidad. La desventaja es que no se consideran y analizan muchos aspectos importantes del problema, por lo que disminuye la calidad de la decisión. Además, baja la moral del grupo, al no haber una participación activa del mismo.

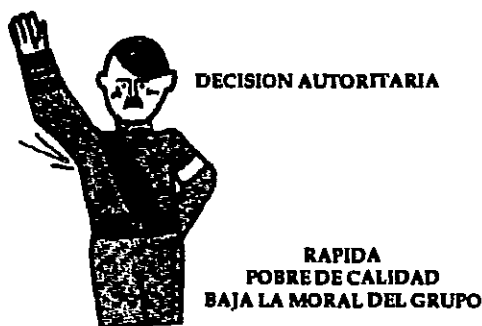


FIGURA 3.8. Decisión autoritaria

- b. *La decisión mayoritaria.* Esta permite una participación democrática en el proceso, principal ventaja de la técnica. La desventaja radica en que la tiranía de la mayoría puede afectar los ideales de la minoría, propiciando el faccionalismo. Sin embargo, esto se puede proteger parcialmente, estableciendo que la mayoría se alcanza cuando se obtienen las tres cuartas partes de los votos requeridos (ver figura 3.9).

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

Capítulo 3. La Metodología para la Adquisición del Conocimiento.

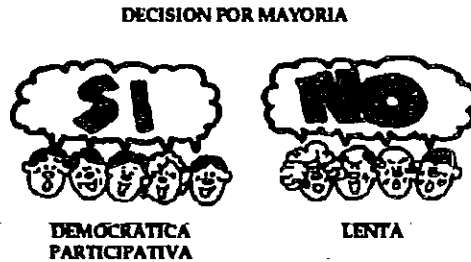


FIGURA 3.9. Decisión mayoritaria

- c. **La decisión por consenso.** El método está caracterizado por la facilidad de su implementación. Todos los que se pueden ver afectados por el proceso de decisión deben comprender y estar de acuerdo con lo que se va a realizar. En este caso, primero se vende la idea a todos los miembros del grupo afectados por la decisión, y posteriormente se reciben sugerencias para posibles cambios y modificaciones tanto de la definición del problema, como de ciertas subdecisiones. La desventaja de la técnica radica en el tiempo que consume para alcanzar el consenso del grupo. Drucker (1974) señala además que con este método se puede alcanzar la solución equivocada para un problema, pero nunca obtener una solución inaplicable a un problema mal definido, como puede ocurrir con las técnicas anteriores. Esto, porque el método prevé suficiente tiempo para realizar una correcta definición del problema en la etapa inicial. Hirokawa (1982) señala también que la decisión por consenso no siempre producirá la mejor decisión. Cita un estudio en el que demuestra que el grupo está unánimemente de acuerdo sobre una solución completamente equivocada del problema. Muestra además en sus investigaciones, que si los grupos no emplean algún método sistemático y racional para complementar la decisión por consenso, probablemente no produzca decisiones de alta calidad.

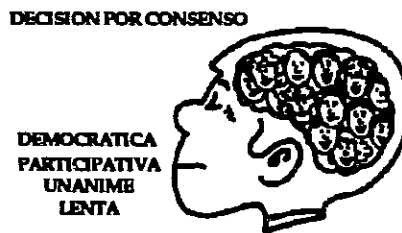


FIGURA 3.10. Decisión por consenso

3.6.2. LA CONSTRUCCION DEL MODELO FINAL

El grupo de ingenieros en conocimientos, con el aval del director del proyecto, debe construir al modelo final, por cada área de trabajo y/o subdominio del conocimiento. Debe integrar el conocimiento de múltiples expertos que cooperaron en diferente grado y forma para alcanzar la solución del problema. El proceso de construcción del modelo final finaliza cuando éste logra expresar el conocimiento y razonamiento de los expertos humanos con un alto grado de plausibilidad y/o no existe una FCA capaz de seguir transformando al mismo. Se debe establecer además un tiempo máximo para lograr la construcción del modelo final. Por último, se sugiere

realizar los dos primeros pasos en forma cíclica para permitir un refinamiento sucesivo de los modelos.

3.6.3. LA VERIFICACION Y VALIDACION DEL MODELO FINAL

El objetivo de la verificación y validación en la etapa final, radica en valorar y mejorar la calidad del modelo final desarrollado, aplicando los métodos señalados anteriormente. El modelo final expresa una representación o abstracción de la realidad, y por lo tanto la verificación y validación se deben llevar a cabo conforme al estándar de calidad definido previamente.

3.6.4. REVISION Y DOCUMENTACION DEL MODELO FINAL

El director del proyecto y el grupo de ingenieros en conocimientos debe mostrar a los participantes de los diferentes grupos que el modelo final expresa el conocimiento adquirido de múltiples fuentes de conocimiento en el dominio de conocimiento de la aplicación. Deben explicar claramente a los mismos el funcionamiento de la representación utilizada, evitando confundirlos. Puede suceder que el modelo final tenga una representación correcta del conocimiento, aunque ésta seguramente difiera en gran medida, de la forma en que los EH representan internamente el conocimiento.

El director del proyecto y el grupo de ingenieros en conocimientos debe primeramente introducir y presentar al modelo final, y posteriormente motivar a los expertos humanos para que critiquen al modelo, a través del intercambio de opiniones, conocimientos y experiencias. La siguiente lista de actividades es útil para alcanzar los objetivos señalados:

- a. Mostrar a los grupos de expertos humanos, patrocinadores y usuarios potenciales como funciona el modelo construido. Se puede *correr* un conjunto de casos, prototipos y excepcionales, para explicar el comportamiento del modelo. El director del proyecto debe obtener la opinión de los participantes sobre el modelo construido. Debe observar si consideran correcto su funcionamiento o tienen reservas sobre el desempeño del mismo.
- b. Preguntar a los participantes si consideran que el modelo concuerda con las especificaciones planteadas. Si las respuestas son negativas, debe sugerir a las FCA que expresen lo que consideran está mal (especificaciones incorrectas, especificaciones incompletas, inconsistencia de las especificaciones, etc.).
- c. Mostrar a los diferentes grupos la forma en que funcionará el SBC. Esto lógicamente dependerá de la aceptación parcial, de los puntos anteriores.

Finalmente, cabe destacar que el director del proyecto y el grupo de ingenieros en conocimientos deben completar la documentación de la etapa y del modelo final. La documentación de la etapa inicia con ésta y se va completando conforme la misma avanza. La documentación de los modelos inicia con la actividad de modelación del modelo retroalimentado y se considera completa cuando el modelo es desarrollado.

3.6.5. MANEJO Y CONTROL DE LA CUARTA ETAPA

Los pasos y actividades de la cuarta etapa fueron definidos solo como una guía para el director del proyecto. Estos no se deben considerar como una secuencia inflexible que se debe seguir para todo proyecto. Sin embargo, se presentan algunas sugerencias sobre el manejo de la segunda etapa que pueden resultar de interés.

En la figura 3.11 se observa gráficamente el orden de realización de los pasos. Además se señalan los grupos que participan en éstos. El esquema sugiere que los dos primeros pasos se realicen en forma cíclica, mientras que los dos últimos en forma simultánea. Cabe aclarar que si los resultados de los dos últimos pasos no se ajustan a lo esperado, entonces se debe regresar al segundo paso o en su defecto nuevamente al primero. Por otra parte, si los resultados del análisis del modelo final resultan satisfactorios entonces la fase de AC se debe considerar concluida.

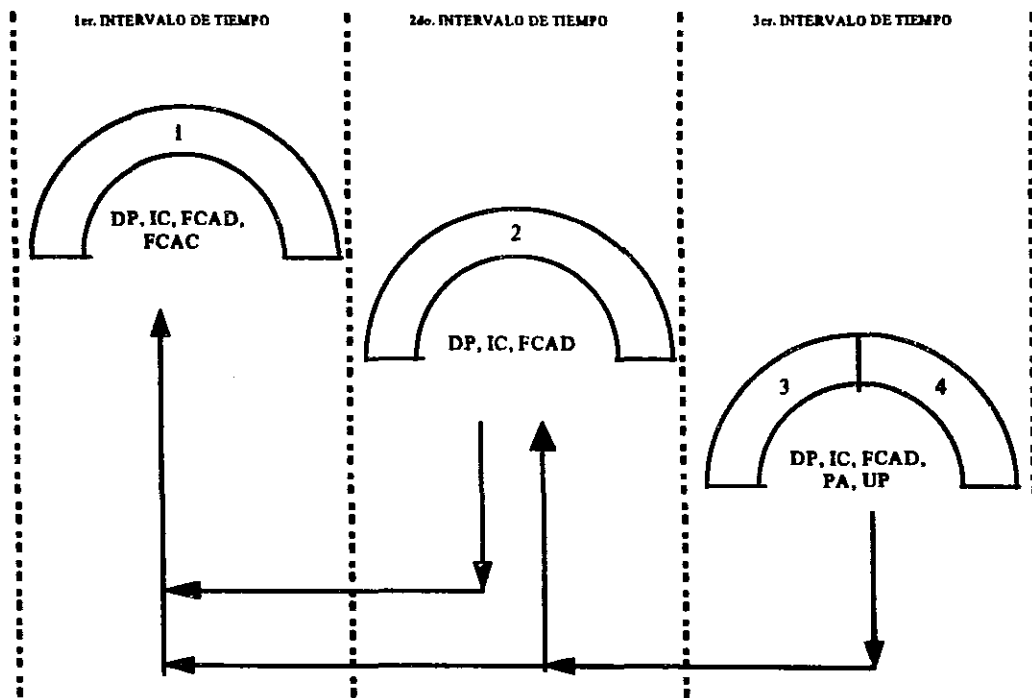


FIGURA 3.11. Esquema alternativo para completar los pasos de la cuarta etapa.

*No podemos tener nunca la pretensión
de que nuestros juicios sean
verdaderos, sino tan sólo la ilusión de
que sean probables.*

CAPITULO 4

La Modelación del Conocimiento

4

En este capítulo se presenta el método para la modelación del conocimiento. Se inicia con una discusión sobre los problemas asociados a la adquisición del conocimiento y una posible solución a través de la modelación. Posteriormente, se presenta el lenguaje conceptual de modelación y la formalización del método. En la parte final del capítulo se presentan ejemplos de modelación.

Cabe señalar que avances y diferentes versiones de lo expuesto en este capítulo, fueron presentados en el journal *Expert System with Applications* (Cairó, 1998), the *Fourth World Congress on Expert Systems WCES-98* (Cairó, 1998), the *European Conference on Expert Systems EXPERSYS-97* (Cairó, 1997), y the *Fifteenth International Joint Conference on Artificial Intelligence IJCAI-97* (Cairó & Loyola, 1997). Versiones tempranas de la metodología fueron presentadas también en the *Sixth International Conference on Software Engineering and Knowledge Engineering SEKE* (Cairó et al., 1994), y the *2nd. Pacific Rim International Conference on Artificial Intelligence* (Cairó et al., 1992).

4.1. SOBRE LA MODELACION DEL CONOCIMIENTO

En la última década, la adquisición del conocimiento ha sido reconocida como la etapa crítica y fundamental en la construcción de SBC, y como el cuello de botella para su desarrollo. Aunque en los últimos años se ha observado un crecimiento notable principalmente en capacidades para la construcción de SBC¹, la adquisición del conocimiento aún sigue siendo el principal factor que obstaculiza un buen ciclo de vida en el desarrollo de sistemas basados en conocimientos. Sin embargo, cabe destacar que algunas consideraciones respecto a AC han cambiado desde entonces.

Primero, tal y como Breuker & Wielinga (1987) señalan tempranamente, los problemas asociados a la elicitación del conocimiento no constituyen el cuello de botella, por la simple razón de que no sabíamos como representar de forma implícita el conocimiento de un experto humano. Aunque se sabe mucho acerca de la actividad neural y bioquímica de la mente, poco se sabe de la memoria y del pensamiento. La forma en que los humanos representan el conocimiento no es clara en la actualidad (Vámos, 1996). Segundo, el conocimiento adquirido de múltiples fuentes de conocimiento es generalmente extenso, inexacto, incompleto, cualitativo, y no ordenado sistemáticamente. Por lo tanto, problemas de interpretación pueden ocurrir con frecuencia (Breuker & Wielinga, 1987). Tercero, la transferencia del conocimiento en forma directa desde las múltiples fuentes de conocimiento a la máquina artificial, es menos organizada, menos confiable, menos comprensiva, menos efectiva, que cuando se representa en modelos de manera intermedia.

¹ Por ejemplo, la construcción de CommonKADS. La metodología representa una colección de métodos estructurados para la construcción de SBC.

El conocimiento es demasiado rico para ser transferido automáticamente desde las fuentes de conocimiento a la máquina artificial. Por lo tanto, el principal problema parece ser debido a una falta de métodos apropiados para la modelación del conocimiento, herramientas que permitan manejar estos métodos, y concepciones acerca de como analizar e interpretar el conocimiento.

Luego podríamos preguntarnos: *que clase de método de modelación del conocimiento se debería formular?, debería este enfocarse en mostrar operaciones de razonamiento o ilustrar procesos de comprensión?* Un sistema basado en conocimientos razona, más que comprende. *Por qué entonces habría que enfocarse en procesos de comprensión?* Nuestra respuesta para esta interrogante es simple. Los modelos deben representar un puente entre el conocimiento adquirido de múltiples fuentes de conocimiento y la máquina artificial. Esta consideración implica que el nivel de descripción no debe estar ni al nivel de los datos, ni al nivel de implementación. Este debe representar un nivel específico de abstracción que permita establecer coherencia entre la interpretación del conocimiento y las futuras funciones del SBC. De esta forma, el puente entre los modelos y la base de conocimientos es relativamente fácil de cruzar.

Es importante destacar las ventajas de modelos que ilustran procesos de comprensión. Estas ventajas son casi absolutas, especialmente, en dominios donde el conocimiento es extenso, incompleto, inexacto, y donde la adquisición del conocimiento se realiza de múltiples fuentes de conocimiento. Los modelos se pueden utilizar como medio de comunicación entre los EH y el IC, como ayuda en estrategias de razonamiento, y para la estructuración y descripción del conocimiento independientemente de la implementación. Los modelos constituyen una representación intermedia entre el conocimiento adquirido de múltiples fuentes de conocimiento y el conocimiento representado en la base de conocimientos. Cabe señalar además, que los modelos son especialmente importantes porque permiten identificar y precisar impactos positivos y negativos del SBC. Estos impactos son cruciales para la toma de decisiones antes, durante, e incluso después del proyecto (De Hoog et al., 1996).

En KAMET, un modelo debe ser construido para cada área de trabajo en común o subdominio del conocimiento. Un modelo representa una abstracción de la realidad. La modelación es una herramienta que permite lidiar con problemas de extensión y complejidad. La actividad de modelación, por otra parte, consiste primero del análisis y síntesis de conceptos pertenecientes a un dominio específico del conocimiento, y luego de su representación en un modelo conceptual. La formulación del método, por otra parte, es una tarea compleja, indefinida y limitada. Realizamos, antes de explicar a éste, algunas reflexiones (Sibelius, 1993):

- a. Considérese la modelación de un conjunto de datos D utilizando los modelos de Kangassalo por un lado, la metodología orientada a objetos por otro, y relaciones intencionales entre conceptos como una tercera opción. Se debería asumir que los modelos construidos con los métodos mencionados son iguales en la medida de que son realizados a partir del mismo conjunto D de datos observados. Sin embargo, en la práctica y casi con certeza, estos difieren. Las diferencias se pueden derivar de las propias teorías de modelación o tener origen en la incorporación de nueva información al modelo construido.

El conocimiento es demasiado rico para ser transferido automáticamente desde las fuentes de conocimiento a la máquina artificial. Por lo tanto, el principal problema parece ser debido a una falta de métodos apropiados para la modelación del conocimiento, herramientas que permitan manejar estos métodos, y concepciones acerca de como analizar e interpretar el conocimiento.

Luego podríamos preguntarnos: *que clase de método de modelación del conocimiento se debería formular?, debería este enfocarse en mostrar operaciones de razonamiento o ilustrar procesos de comprensión?* Un sistema basado en conocimientos razona, más que comprende. *Por qué entonces habría que enfocarse en procesos de comprensión?* Nuestra respuesta para esta interrogante es simple. Los modelos deben representar un puente entre el conocimiento adquirido de múltiples fuentes de conocimiento y la máquina artificial. Esta consideración implica que el nivel de descripción no debe estar ni al nivel de los datos, ni al nivel de implementación. Este debe representar un nivel específico de abstracción que permita establecer coherencia entre la interpretación del conocimiento y las futuras funciones del SBC. De esta forma, el puente entre los modelos y la base de conocimientos es relativamente fácil de cruzar.

Es importante destacar las ventajas de modelos que ilustran procesos de comprensión. Estas ventajas son casi absolutas, especialmente, en dominios donde el conocimiento es extenso, incompleto, inexacto, y donde la adquisición del conocimiento se realiza de múltiples fuentes de conocimiento. Los modelos se pueden utilizar como medio de comunicación entre los EH y el IC, como ayuda en estrategias de razonamiento, y para la estructuración y descripción del conocimiento independientemente de la implementación. Los modelos constituyen una representación intermedia entre el conocimiento adquirido de múltiples fuentes de conocimiento y el conocimiento representado en la base de conocimientos. Cabe señalar además, que los modelos son especialmente importantes porque permiten identificar y precisar impactos positivos y negativos del SBC. Estos impactos son cruciales para la toma de decisiones antes, durante, e incluso después del proyecto (De Hoog et al., 1996).

En KAMET, un modelo debe ser construido para cada área de trabajo en común o subdominio del conocimiento. Un modelo representa una abstracción de la realidad. La modelación es una herramienta que permite lidiar con problemas de extensión y complejidad. La actividad de modelación, por otra parte, consiste primero del análisis y síntesis de conceptos pertenecientes a un dominio específico del conocimiento, y luego de su representación en un modelo conceptual. La formulación del método, por otra parte, es una tarea compleja, indefinida y limitada. Realizamos, antes de explicar a éste, algunas reflexiones (Sibeliuss, 1993):

- a. Considérese la modelación de un conjunto de datos D utilizando los modelos de Kangassalo por un lado, la metodología orientada a objetos por otro, y relaciones intencionales entre conceptos como una tercera opción. Se debería asumir que los modelos construidos con los métodos mencionados son iguales en la medida de que son realizados a partir del mismo conjunto D de datos observados. Sin embargo, en la práctica y casi con certeza, estos difieren. Las diferencias se pueden derivar de las propias teorías de modelación o tener origen en la incorporación de nueva información al modelo construido.

- b. Se sabe que existen diferentes métodos para modelar, en la inteligencia de que hay teorías T acerca de como construir modelos M dado un conjunto de datos D . Sin embargo, se puede observar que las teorías no son equivalentes, no siempre determinan un modelo único, y además, en muchas ocasiones, los modelos generados a partir de una teoría formal no siempre describen en forma correcta esa porción del universo para lo cual la teoría en sí fue formulada. Cabría entonces realizar la siguiente pregunta: *¿Se puede formular una teoría estricta para la modelación del conocimiento?*
- c. Una teoría para la modelación del conocimiento debería estar llena de recomendaciones prácticas para el ingeniero en conocimientos. Este debe estar seguro de que tiene el conocimiento experto del objeto que va a modelar, debe conocer y poder distinguir sus propiedades y su tipo de existencia, y además debe estar firme sobre los objetivos del modelo que va a construir. El ingeniero en conocimientos debe tener también sentido común, intuición, y la capacidad para juzgar en forma apropiada. Estas recomendaciones, aunque indudablemente muy prácticas, no se pueden exigir e introducir en una teoría de la modelación.

El método propuesto absorbe las reflexiones señaladas e intenta proporcionar los elementos necesarios para que el IC construya buenos modelos. Los resultados, sin embargo, dependerán en buena medida del buen juicio del ingeniero en conocimientos y de las consideraciones lógicas, psicológicas y epistemológicas, que éste haga en el momento correcto.

4.2. EL LENGUAJE DE MODELACION CONCEPTUAL (LMC)

El lenguaje de modelación conceptual se presenta luego de una discusión sobre los problemas potenciales que existen en la adquisición del conocimiento. Se asume enfáticamente que la representación del conocimiento por medio de reglas de producción, así como con un lenguaje orientado a objetos, diccionarios de datos, diagramas entidad-relación, entre otros métodos, no son suficientes ni para el propósito de la construcción del SBC, ni para los fines de la representación del conocimiento. El conocimiento es demasiado rico para ser representado con los métodos arriba mencionados. Se requiere otro tipo de facilidades y métodos más poderosos. Un método para la modelación del conocimiento debe proporcionar un rico vocabulario para que el conocimiento y la *expertiz* de los expertos humanos se pueda representar en forma apropiada. El conocimiento y razonamiento deben representarse de tal forma, que los modelos también puedan ser explotados de manera flexible.

Se sugiere por lo tanto, un nuevo método de modelación del conocimiento. Este está aún sujeto a modificaciones y puede mostrar algunas inconsistencias. Sin embargo, la estructura parece ser suficientemente estable como para recibir una evaluación. También se asume que el uso y retroalimentación de otros investigadores que trabajen en el área generarán ideas, puntos de vista y opiniones que nos permitirán observar los puntos fuertes y débiles de la propuesta. Los resultados de esta exploración comenzarán a ser visibles en el futuro.

El método de modelación tiene tres niveles de abstracción. El primero corresponde a constructores estructurales y componentes estructurales. El segundo nivel corresponde a nodos y reglas de composición. El tercer nivel corresponde al modelo global.

Primer Nivel de Abstracción: Constructores y Componentes Estructurales

El primer nivel de abstracción corresponde a constructores y componentes estructurales. Los constructores estructurales se utilizan para denotar el problema en sí. Dentro de los constructores estructurales (figura 4.1) se establecen diferencias entre: *problema*, *clasificación* y *subdivisión*.

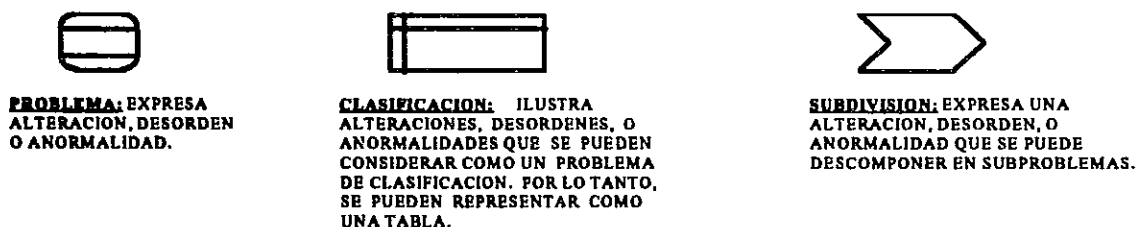


FIGURA 4.1. Constructores estructurales

Por otra parte, los componentes estructurales (figura 4.2) se utilizan para denotar las características y posible solución de una alteración, desorden, o anomalía.

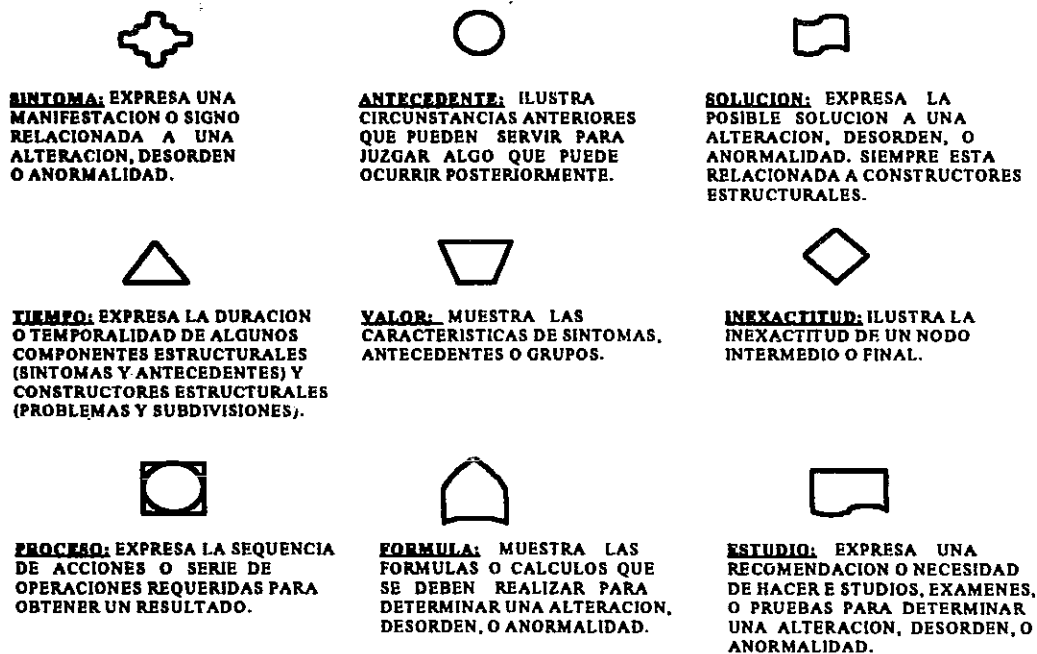


FIGURA 4.2. Componentes estructurales.

Básicamente los componentes estructurales se descomponen en *características* y *acciones*. Las primeras se utilizan para determinar el diagnóstico y su posible solución. Dentro de características

Capítulo 4. La Modelación del Conocimiento.

se distingue entre los siguientes componentes estructurales: *sintoma*, *antecedente*, *solución*, *tiempo*, *valor*, e *inexactitud*. Las acciones indican que algo se tiene que llevar a cabo antes de continuar con el diagnóstico. Dentro de acciones se establecen diferencias entre los siguientes componentes estructurales: *fórmula*, *estudio* y *proceso*.

Segundo Nivel de Abstracción: Nodos y Reglas de Composición

El segundo nivel de abstracción corresponde a los nodos y a las reglas de composición. El modelo se representa por medio de digráficas. Digráficas -gráficas dirigidas- son gráficas² en las cuáles las ligas o arcos están orientadas.

Se llama *digráfica* a una gráfica $G = (V, A)$ si los elementos de A son *pares ordenados* de vértices. Los elementos de A son llamados *arcos*. A representa el conjunto múltiple de arcos, y se denota como $v \rightarrow w$ el arco (v, w) . La representación gráfica de una digráfica es la misma que para una gráfica ordinaria, excepto por los arcos o ligas que muestran una dirección determinada. En este trabajo se realiza un cambio en la notación. Se introduce el término *nodo* (N) en lugar de vértices, y la expresión *reglas de composición* (C) en lugar de arcos.

Ahora bien, los nodos tienen estructura interna y se forman a partir de constructores y componentes estructurales. Se distingue entre tres diferentes tipos de nodos: *nodo inicial*, *nodo intermedio*, y *nodo final*. Las reglas de composición (figura 4.3), por otra parte, son las que permiten la adecuada conexión de nodos. Se distingue entre cuatro diferentes tipos de reglas de composición: *división*, *implicación*, *acción* y *unión*.

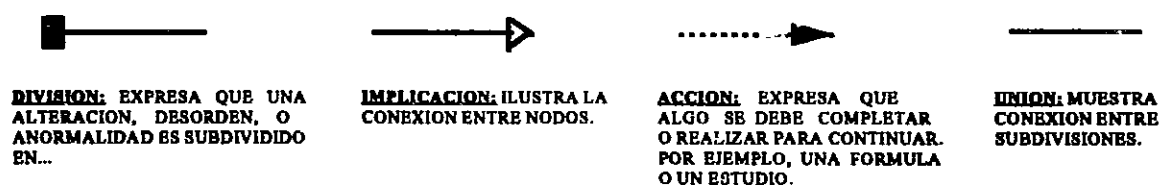


FIGURA 4.3. Reglas de Composición.

Tercer Nivel de Abstracción: Modelo Global

El tercer nivel de abstracción corresponde al modelo global. Un modelo global consiste de, al menos, un nodo inicial, cualquier número de nodos intermedios (cero o más) y uno o más nodos terminales. La conexión entre nodos se realiza por medio de reglas de composición. El modelo global debe expresar el conocimiento adquirido de múltiples fuentes de conocimiento en un dominio específico del conocimiento.

² Pagnoni (1990) define una gráfica como un par ordenado de la siguiente forma: $G = (V, E)$ donde V es un conjunto finito no vacío de elementos llamados vértices y E es una colección de pares de la forma $\{v, w\}$ de vértices. Los elementos de E son llamados arcos; E y V representan el conjunto de arcos y vértices de G , respectivamente. Los pares pertenecientes a E no están ordenados, por lo tanto $\{v, w\} = \{w, v\}$.

Se presenta a continuación la formalización del lenguaje de modelación conceptual.

4.3. LA FORMALIZACION DEL LMC DE KAMET

La formalización refiere a una sintaxis explícita y una semántica no ambigua para los términos utilizados. No tiene un propósito en sí misma. Sin embargo, permite incrementar la consistencia y transparencia del método presentado. La formalización del lenguaje de modelación conceptual de KAMET está basado más en un metalenguaje, que en un conjunto de teoremas y demostraciones matemáticas. Esto en parte porque se considera fundamentalmente un modelo deductivo³. La caracterización del método por medio de convenciones diagramáticas y postulados es como sigue:

4.3.1. LAS CONVENCIONES DIAGRAMATICAS DEL LMC

Se presentan a continuación las convenciones diagramáticas del lenguaje de modelación conceptual.

CD1. Los componentes y constructores estructurales se pueden *nombrar* utilizando una etiqueta numérica o lingüística (figura 4.4). El uso de nombres agiliza y facilita la construcción de los modelos. Cada etiqueta está asociada a un valor de una lista general.

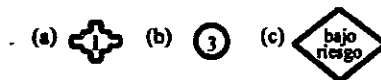


FIGURA 4.4. Nombres de componentes y constructores estructurales.
(a) síntoma: 1; (b) antecedente: 3; y (c) inexactitud: *bajo riesgo*.

CD2. El *indicador* se representa por medio de un cuadrado (figura 4.5) y se ubica en la parte superior derecha del elemento sobre el cual hace referencia. El elemento puede ser una agrupación o el componente estructural valor. Un indicador se nombra de tres formas diferentes. Se utiliza n para expresar el número de elementos exactos que deben estar presentes. Se utiliza $n+$ para expresar que al menos n elementos deben estar presentes. Se utiliza n, m para expresar el mínimo y máximo de los elementos que deben estar presentes. Donde: n y m son valores numéricos enteros: $n \geq 0$, $m \geq 0$ y $m > n$.

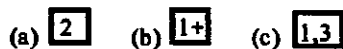


FIGURA 4.5. Indicador.
(a) indicador: n ; (b) indicador: $n+$; y (c) indicador: n, m .

³ En el apéndice 3 se describen los postulados que caracterizan una ciencia, sistema o modelo deductivo. Se presentan también algunas breves observaciones sobre éstos.

Capítulo 4. La Modelación del Conocimiento.

CD3. Se define un *grupo* como una cadena especial (ver siguiente convención diagramática). Los elementos concatenados tienen tiempos y/o valores en común, o bien se relacionan por medio de un indicador. El concepto de grupo es recursivo. Obsérvese en la figura 4.6 el símbolo utilizado para expresar un grupo.



FIGURA 4.6. Grupos.
(a) grupo; (b) grupo con indicador n; y (c) grupo recursivo.

CD4. Se define una *cadena* (figura 4.7) como la concatenación de dos o más grupos, síntomas y/o antecedentes. El orden de la concatenación es irrelevante.

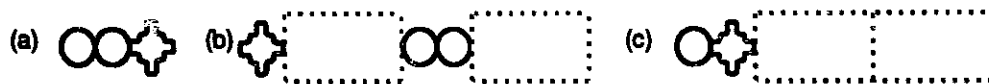


FIGURA 4.7. Cadenas.
(a) concatenación de dos antecedentes con un síntoma; (b) concatenación de un síntoma con un grupo, dos antecedentes y otro grupo; y (c) concatenación de un antecedente con un síntoma y dos grupos.

CD5. Se define *asignación* como el proceso de etiquetar un nodo (figura 4.8). El proceso consta de dos partes: la asignación y el uso. El objetivo de la asignación es poder reutilizar el nodo en cualquier otra parte del modelo sin tener que volver a definirlo. Esto permite reutilizar completamente un nodo no solamente en forma, sino también en contenido. El reuso es un principio universal que permite atacar la complejidad, y evita principalmente rediseñar o desarrollar partes de un producto que ya existen. El proceso de asignación da flexibilidad en la modelación.



FIGURA 4.8. Asignación.
(a) Asignación de un nombre a un nodo; (b) uso de la asignación de nombres.

4.3.2. LOS POSTULADOS DEL LMC

Se presentan a continuación los postulados del método de modelación conceptual.

P0. El componente estructural *tiempo* (figura 4.9) -uno o más- siempre se coloca a la derecha de un grupo, de los constructores estructurales problema y subdivisión, o de los componentes estructurales síntoma y antecedente.

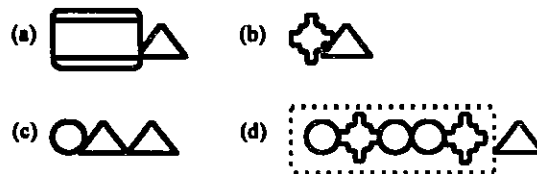


FIGURA 4.9. La asignación del componente estructural tiempo.
 (a) asignación del tiempo a un problema; (b) asignación del tiempo a un síntoma;
 (c) asignación de tiempos a un antecedente; y (d) asignación de tiempo a un grupo.

P1. El componente estructural *valor* (figura 4.10) -uno o más- siempre se coloca arriba de un síntoma, un antecedente o un grupo. El valor es un elemento recursivo que puede utilizar un indicador. Cuando existe más de un valor, éstos se pueden colocar de formas diferentes.

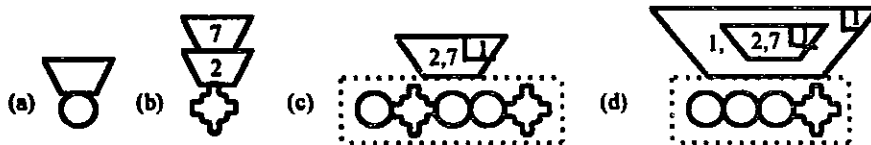


FIGURA 4.10. La asignación del componente estructural valor.
 (a) asignación de un valor a un antecedente; (b) asignación de los valores 2 y 7 a un síntoma;
 (c) asignación de los valores 2 y 7 a un grupo con indicación de que sólo uno de estos debe estar presente; y (d) asignación de un valor recursivo a un grupo.

P2. El componente estructural *solución* se relaciona solamente con los constructores estructurales.

P3. Los nodos se clasifican en tres tipos: inicial (I), intermedio (M) y terminal (T).

Si $G = (N, C)$ se define una función $T : N \rightarrow \{I, M, T\}$. Los elementos de N son llamados nodos. Los elementos de C son llamados reglas de composición. Estos establecen la relación entre los elementos de N . Las funciones definidas en N o C formalizan en un sentido válido, pero no único, la idea de enriquecer a G .

P4. Los nodos se pueden relacionar mediante reglas de composición de las siguientes formas:

- nodo inicial con nodo terminal.
- nodo inicial con nodo intermedio.
- nodo intermedio con nodo intermedio.
- nodo intermedio con nodo terminal.

$$R: C \rightarrow \{I, M, T\} \times \{I, M, T\}$$

$$R((n1, n2)) = (T(n1), T(n2))$$

Hay nueve pares ordenados pertenecientes a R . Sin embargo, sólo cuatro tienen sentido en P4: $\{I, T\}$, $\{I, M\}$, $\{M, M\}$, y $\{M, T\}$. Esta es una consecuencia no trivial de P4.

P5. Un nodo inicial representa un síntoma, un antecedente, un grupo, o una cadena. Un nodo inicial no tiene flujos de entrada y puede tener uno o más flujos de salida.

Capítulo 4. La Modelación del Conocimiento.

Si $n \in N \wedge c \in C$, luego se definen los flujos de entrada y salida de la siguiente forma:

$$IN = \{c \in C \mid n \text{ es el final de } c\}$$

$$OUT = \{c \in C \mid n \text{ es inicio de } c\}$$



Donde, IN representa el flujo de entrada y OUT representa el flujo de salida. Respecto a P5, este se formaliza de la siguiente forma:

$$I = \{n \in N \mid T(n) = I\}$$

Se postulan las propiedades de I.

$$IN(n) = 0, \forall n \in I.$$

$$OUT(n) \geq 1, \forall n \in I.$$

- P6. Un nodo intermedio representa un constructor estructural o los componentes estructurales: estudio, proceso, fórmula o inexactitud. Un nodo intermedio puede tener uno o más flujos de entrada y uno o más flujos de salida.

$$M = \{n \in N \mid T(n) = M\}$$

Se postulan las propiedades de M de esta forma:

$$IN(n) \geq 1, \forall n \in M.$$

$$OUT(n) \geq 1, \forall n \in M.$$

- P7. Un nodo terminal representa un constructor estructural. Un nodo terminal tiene uno o más flujos de entrada. Los flujos de salida sólo se utilizan para determinar posibles soluciones.

$$T = \{n \in N \mid T(n) = T\}$$

Se postulan las propiedades de T de esta forma:

$$IN(n) \geq 1, \forall n \in T.$$

$$OUT(n) = 0, \forall n \in T.$$

- P8. Los nodos iniciales e intermedios se pueden agrupar, sin perder sus propiedades o funciones, en nodos moleculares. Estos nodos, a su vez, actuarán como un nodo en su propio derecho. Los nodos moleculares se forman en base a conjunciones o disyunciones. Los nodos iniciales e intermedios corresponden a las letras del cálculo proposicional. Cada nodo es simplemente una proposición en estas letras. Obsérvese en la figura 4.11. los símbolos utilizados para representar las conjunciones (AND's) y disyunciones (OR's) en los nodos moleculares.

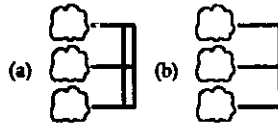


FIGURA 4.11. Nodos moleculares.
(a) conjunciones, y (b) disyunciones.

P9. Las reglas de composición se utilizan para relacionar a los diferentes nodos y a los constructores estructurales con el componente solución.

P10. Los modelos se representan por digráficas.

4.4. EJEMPLOS DE MODELACION

Se presentan a continuación diferentes ejemplos que ayudan a comprender la forma en que se construyen los modelos. El primer ejemplo corresponde al diagnóstico de un problema eléctrico, el segundo al diagnóstico de una enfermedad cardiovascular, y el último al diagnóstico de una falla en un automóvil.

Diagnóstico de un Problema Eléctrico

En la figura 4.12 se observa un modelo simple correspondiente al diagnóstico de un problema eléctrico. El objetivo de este ejemplo es mostrar las diferencias entre nodos moleculares (postulado P8). Los problemas y síntomas correspondientes se pueden observar en la tabla 4.1.

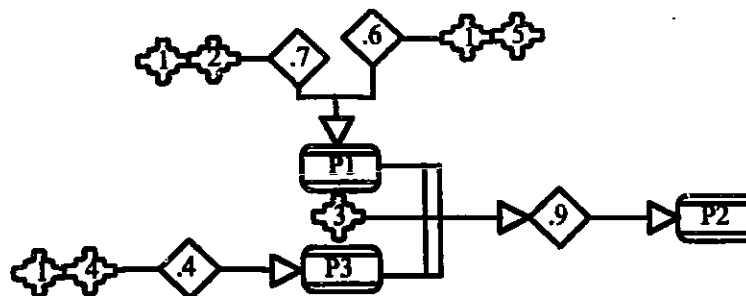


FIGURA 4.12. Modelo correspondiente a problemas eléctricos.

El modelo expresa que el problema P1 puede ocurrir debido a dos diferentes situaciones. En la primera, el modelo muestra que si se producen los síntomas $s1$ y $s2$ existe una probabilidad de 0.7 de que el problema sea P1. En la segunda, el modelo expresa que se producen los síntomas $s1$ y $s5$ entonces el problema es P1 con una probabilidad de 0.6. Por otra parte, se puede deducir que el problema es P3 con una probabilidad de 0.4 si los síntomas $s1$ y $s4$ son observados. Finalmente, si se presenta el problema P1, se observa el síntoma $s3$ y ocurre el problema P3, entonces se puede concluir que el problema es P2, con una probabilidad de 0.9. De esta forma, se puede interpretar el modelo de la figura 4.12.

TABLA 4.1. Problemas y síntomas del modelo de la figura 4.12.

PROBLEMAS (P)	SINTOMAS (s)
P1. Problema de fuente de energía en el tablero WPLMI.	s1. Falla del sistema.
P2. Falla en la fuente de energía.	s2. El tablero WPLMI reporta bajo voltaje.
P3. El puerto de la CPU está cerrado.	s3. el voltaje de entrada de la CPU es menor a 4.5 V.
	s4. El CPU no responde a comandos del puerto.
	s5. El tablero WPLMI es la fuente de la falla del sistema.

En la tabla 4.2 se observan ejemplos de nodos moleculares -conjunciones y disyunciones- que se presentan en el modelo de la figura 4.12.

TABLA 4.2. Nodos moleculares.

NODOS MOLECULARES	EJEMPLO
Conjunción	
Disyunción	

Diagnóstico de una Enfermedad Cardiovascular

En la figura 4.13. se observa el modelo correspondiente al diagnóstico de una enfermedad cardiovascular y una angina. El modelo se presenta principalmente para ilustrar el uso de los componentes estructurales: tiempo, valor, inexactitud y estudio. En la tabla 4.3 se presentan los problemas, síntomas, antecedentes y estudios del modelo. En la tabla 4.4 los valores, inexactitudes y tiempos.

El modelo expresa que si existe el síntoma *s1* con al menos uno de los valores *v2* y *v3*, entonces existe una inexactitud *i1* de que el problema sea *P2*. Por otra parte, si existe el antecedente *a4* con los tiempos *t2* y *t4* u ocurre el problema *P2*, entonces se puede concluir que el problema es *P1* con una inexactitud *i1*. Además se puede diagnosticar el problema *P1* con una inexactitud *i2* si se observan el antecedente *a1*, o el antecedente *a3* con el valor *v1* y el tiempo *t1*, o el antecedente *a4* con los tiempos *t2* y *t3*. Finalmente, cabe destacar que siempre que se presente el antecedente *a2* se debe realizar el estudio *e1*.

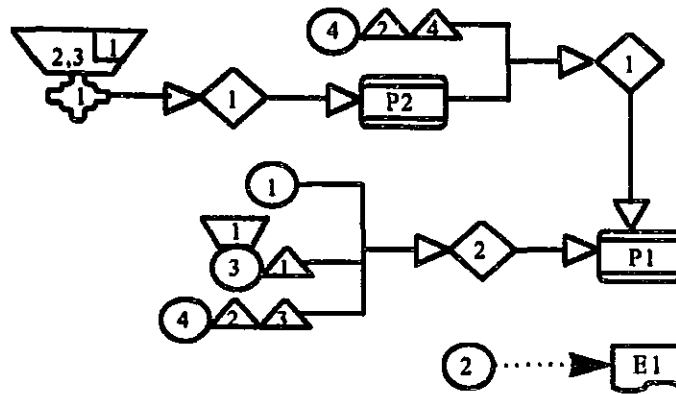


FIGURA 4.13. Modelo de una enfermedad cardiovascular y una angina

TABLA 4.3. Problemas, síntomas, antecedentes y estudios del modelo de la figura 4.13.

PROBLEMAS (P)	SINTOMAS (s)	ANTECEDENTES (a)	ESTUDIOS (e)
P1. Enfermedad cardiovascular.	s1. Dolor en el pecho.	a1. Dieta con gran cantidad de peces y/o mariscos.	e1. Prueba de sangre.
P2. Anginas.		a2. Antecedentes familiares de enfermedad cardiovascular.	
		a3. Consumo de alcohol.	
		a4. Ejercicio.	

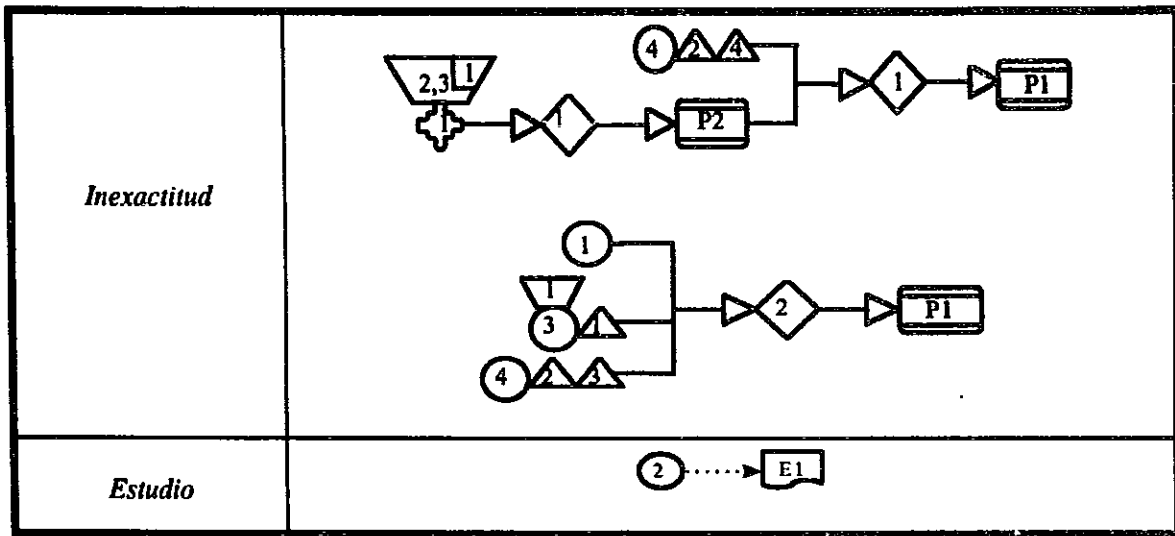
TABLA 4.4. Valores, inexactitudes y tiempos del modelo de la figura 4.15.

VALORES (v)	INEXACTITUDES (i)	TIEMPOS (t)
v1. Entre 3 y 10 onzas de alcohol.	i1. Alto riesgo.	t1. A la semana.
v2. Incrementa en frecuencia.	i2. Bajo riesgo.	t2. Más de tres veces a la semana.
v3. Aparece después de hacer menos ejercicio.		t3. Durante 15 minutos.
		t4. Menos de tres veces a la semana.

Finalmente, en la tabla 4.5 se pueden observar ejemplos de los componentes estructurales tiempo, valor, inexactitud y estudio, del modelo de la figura 4.13.

TABLA 4.5. Uso de los componentes estructurales tiempo, valor, inexactitud y estudio.

COMPONENTES ESTRUCTURALES	EJEMPLO
Tiempo	
Valor	



Diagnóstico de Fallas en un Automóvil

En figura 4.14 se puede observar el último ejemplo de modelación del conocimiento. El mismo corresponde al diagnóstico de fallas en un automóvil. El modelo se presenta principalmente para ilustrar el uso de las diferentes conexiones entre los nodos inicial, intermedio y final. En la tabla 4.6 se presentan los problemas y los síntomas del modelo correspondiente.

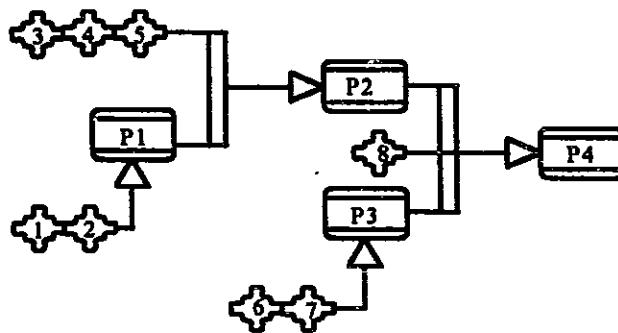


FIGURA 4.14. Modelo sobre fallas de un automóvil.

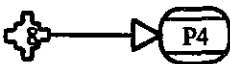
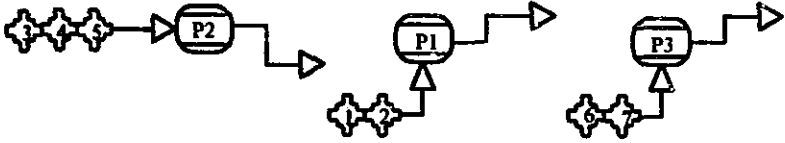
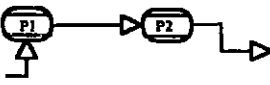
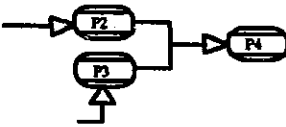
El modelo expresa que si se presentan los síntomas s_3 , s_4 y s_5 , y al mismo tiempo se observa el problema P_1 , entonces ocurre el problema p_2 . Por otra parte, el problema P_1 se presenta cuando están presentes los síntomas s_1 y s_2 . Por otra parte, cuando los síntomas s_6 y s_7 son observables entonces se puede concluir que el problema es P_3 . Finalmente, cuando se presentan los problemas P_2 y P_3 y al mismo tiempo se observa el síntoma s_8 entonces se puede concluir que el problema es P_4 . De esta forma se puede interpretar al modelo de la figura 4.14.

TABLA 4.6. Problemas y síntomas del modelo de la figura 4.14.

PROBLEMAS (P)	SINTOMAS (s)
P1. El sistema eléctrico trabaja normalmente.	s1. Las luces delanteras se notan muy brillantes.
P2. No llega combustible al cilindro.	s2. Chispa presente en los cilindros del motor.
P3. El suministro de combustible es adecuado.	s3. El automóvil no arranca.
P4. El filtro de combustible está obstruido.	s4. El arranque afecta al cigüeñal.
	s5. El aire llega a los cilindros del motor.
	s6. El medidor de combustible trabaja normalmente.
	s7. El medidor de combustible indica que existe gasolina en el tanque.
	s8. La bomba de gasolina trabaja normalmente.

Finalmente, en la tabla 4.7 se pueden observar ejemplos de las diferentes conexiones entre nodos del modelo de la figura 4.14.

TABLA 4.7. Diferentes conexiones entre los nodos.

CONEXIONES	EJEMPLOS
<i>Nodo inicial con nodo terminal</i>	
<i>Nodo inicial con nodo intermedio</i>	
<i>Nodo intermedio con nodo intermedio</i>	
<i>Nodo intermedio con nodo terminal</i>	

Quién, por ejemplo, vea en el pensamiento humano, en la razón, la única base de conocimiento, estará convencido de la especificidad y autonomía psicológicas de los procesos del pensamiento. A la inversa, aquel que funde todo conocimiento en la experiencia, negará la autonomía del pensamiento, incluso en sentido psicológico.

CAPITULO 5

Evaluación y Resultados de KAMET

5

En este capítulo se presenta la evaluación de la metodología para la adquisición del conocimiento de múltiples fuentes de conocimiento. Se presentan también reflexiones sobre la evaluación y diferentes contrastes contra otras propuestas. Por último se presentan resultados de la aplicación de KAMET.

Cabe señalar, que resultados de la aplicación de la metodología fueron presentados en el journal *Expert System with Applications* (Cairó, 1998; Cairó et al., 1998), the *European Conference on Expert Systems EXPERSYS-97* (Cairó, 1997), the *Third World Congress on Expert Systems* (Cairó & Villarreal, 1996), y en the *6th International Conference on Databases and Expert Systems Applications DEXA'95* (Guardati et al., 1995).

5.1. INTRODUCCION

KAMET es una metodología basada en modelos diseñada para manejar la adquisición del conocimiento de múltiples fuentes de conocimiento. El objetivo de KAMET es, en cierta medida, mejorar la fase de adquisición del conocimiento y el proceso de modelación del conocimiento haciendo a éstos más eficientes. El enfoque, desarrollo y profundidad de la propuesta tanto en lo que respecta a la metodología para la adquisición del conocimiento, como en lo que respecta al método para la modelación del conocimiento, la hacen completamente diferente a otros trabajos. El método está integrado con literatura actual, pretende ser general, aunque está dirigido principalmente a problemas de diagnóstico. Hay dos aportaciones fundamentales en el trabajo desarrollado. La primera está fuertemente relacionada al proceso de AC en sí. El número y tipo de etapas que constituyen la metodología, las entradas y salidas para cada una de estas etapas, los pasos que componen las mismas, y las actividades asociadas a cada uno de estos pasos, representan una guía organizada y detallada para realizar la adquisición del conocimiento de múltiples fuentes de conocimiento en forma estructurada, y por lo tanto más eficiente. La segunda aportación está relacionada al método de modelación del conocimiento. Este es nuevo, diferente y tiene la riqueza necesaria como para modelar el conocimiento principalmente en problemas de diagnóstico.

Se presenta a continuación una breve discusión sobre métricas y métodos de evaluación, más tarde se presenta la evaluación de la metodología, y finalmente los resultados alcanzados.

5.2. SOBRE METRICAS Y METODOS DE EVALUACION

Métricas que permitan evaluar el manejo efectivo del conocimiento son muy difíciles de obtener. La estimación del *valor* es una tarea muy compleja que requiere de la solución de un número de problemas, incluidos los siguientes:

- a. La especificación de los objetos sujetos a evaluación.
- b. La definición de los valores de esos objetos.
- c. La precisión de la forma en que se medirán esos valores.

Indudablemente la elección del *objeto de evaluación* es un requisito para definir el *valor* del objeto. Respecto a este último, varios autores han presentado resultados interesantes sobre el valor de la información y/o del conocimiento¹. Los resultados, sin embargo, varían en forma considerable. Seguramente el trabajo que más atención captó desde el principio fue el desarrollado por Shannon & Weaver (1949). Básicamente, Shannon y Weaver presentaron una función de entropía que permite calcular una medida de información relacionada a la cantidad de incertidumbre asociada a un evento. La función ha sido aplicada en diferentes áreas para medir el contenido de información de ciertos eventos, procedimientos, estructuras, etc. Sin embargo, esta función no trasciende su uso original. Supongamos que se aplica la función de entropía propuesta por Shannon y Weaver para obtener la cantidad de información que existe en un mensaje que se va a transmitir por diferentes canales con ruido. El mensaje al inicio tiene la misma entropía, pero el valor para los diferentes usuarios que reciben este mensaje seguramente es muy diferente. Para propósitos de medir el valor del conocimiento, la función propuesta por Shannon y Weaver no es suficiente (Mowshowitz, 1987). El problema principal del método es que no considera el significado de la información y por consiguiente la interpretación que harán los usuarios que recibirán la misma. Cabe destacar además que la información puede llegar distorsionada por el ruido.

Otros métodos se han concentrado en el rol del conocimiento en la toma de decisiones. Marschak & Radner (1972) presentan un método en el cual el valor de la información es definida en términos de probabilidades de estados y acciones. Por cada situación de decisión, se deben definir acciones y estados alternativos. Las acciones difieren respecto a los beneficios que se pueden alcanzar, pero los posibles logros de estos se fundamentan sobre los estados. Hay diferentes estados con diferentes probabilidades asociadas. La decisión sobre que acción tomar recae sobre la maximización de los beneficios que se pueden obtener. El valor del conocimiento en este método se cifra en la diferencia entre los beneficios esperados. La limitación de la técnica

¹ La relación y diferencias entre datos, información y conocimiento se discute frecuentemente. La definición de datos es similar para la mayoría de los autores. Sin embargo, no ocurre lo mismo con información y conocimiento. Los puntos de vista son a menudo diferentes y en muchos casos contradictorios. Los autores en muchos casos tratan en forma indistinta la información y el conocimiento. En la discusión objeto de este pie de página se incluyen los conceptos que manejan los autores. En algunos casos hablan de información y en otras de conocimiento. Sin embargo, en la mayoría de los casos se refieren a lo mismo. En el capítulo dos se trata el tema con más amplitud.

radica en que en rara ocasión es posible asignar probabilidades con cierto grado de confianza a los estados del modelo (Gotlieb, 1985).

Mason & Sassone (1978) proponen un método en el cual el objeto de evaluación es el conjunto de servicios que se pueden obtener por el uso del conocimiento. El método de micronivel se enfoca en un contexto de *mercado para el conocimiento* y asume que el valor se puede derivar del resultado de la oferta y la demanda. En este método la curva de la demanda representa lo que el usuario está dispuesto a pagar por el uso del conocimiento. Los beneficios esperados en esta propuesta radican en la eficiencia que se puede alcanzar en ciertas actividades por el uso del conocimiento. Gotlieb & Parson (1991) presentan un método similar pero el enfoque es a un nivel macro. La investigación considera el impacto de los beneficios pero a nivel organizacional más que sobre un proyecto específico, un procedimiento o una función. Ambas técnicas son muy interesantes, sin embargo necesitan de mucho tiempo para poderse aplicar. Primeramente, tanto los servicios como los productos necesitan ser conocidos en el mercado y esto puede demandar bastante tiempo.

Repo (1986) hace una distinción entre el valor intercambiable -el producto en uso- y el valor en uso -la información solamente-. Repo sugiere que el valor intercambiable se debe estudiar con métodos clásicos de economía, mientras que el del valor en uso se debe estudiar utilizando técnicas cognitivas. Esto implica que el valor de la información lo debe asignar el usuario de la misma. Según Van Wegen (1996) el método falla al no considerar al producto de la información, el cual también podría ser de gran valor para el usuario.

Mowshowitz (1992) señala que el valor de la información no se puede determinar en forma independiente del medio que la encapsula y la procesa. Consideremos el siguiente ejemplo tomado de Van Wegen (1996). Supongamos que existen dos diccionarios que contengan las mismas definiciones de palabras en español. Supongamos también que uno de los diccionarios no sigue un orden alfabético para presentar las mismas. El valor en cuanto a información se refiere es el mismo. Sin embargo, el diccionario que tiene las palabras ordenadas será de más valor para el usuario. Como conclusión, se debe remarcar que no solamente la información se debe evaluar, sino también los productos derivados de la información o los accesorios relacionados con la información se deben considerar.

Van Wegen (1996) presenta un nuevo método que permite medir el valor del conocimiento y el de productos derivados del conocimiento, conjuntos de servicios originados por el conocimiento, y accesorios relacionados con el conocimiento. Para calcular el valor del conocimiento utiliza una digráfica. Los nodos representan actividades. Las ligas relaciones de costos entre actividades. Para formular la digráfica se deben realizar un conjunto de acciones: determinar procesos relevantes, definir actividades, definir relaciones de actividades, estimar los costos de las actividades, estimar los costos de las relaciones entre actividades, analizar posibles cambios en la gráfica de producción, inferir reducción de costos potenciales y considerar la factibilidad en la reducción de

todo tipo de costos². El método tiene algunas características atractivas que pueden resultar relevantes para la evaluación de un SBC, la evaluación del impacto económico de tales sistemas y para la evaluación del conocimiento que manejan. Sin embargo, la propuesta de Van Wegen aunque ha sido aplicada con éxito a un conjunto de casos, se encuentra todavía en una etapa de análisis y pruebas.

5.3. LA EVALUACION DE KAMET

La evaluación, de acuerdo a lo expuesto en los párrafos anteriores, generalmente debe comprender además del conocimiento en sí, los productos, servicios y/o accesorios derivados de éste. Sin embargo, métricas para realizar este tipo de evaluación son muy difíciles de obtener en la actualidad. Los investigadores que han trabajado sobre el tema muestran resultados que varían en forma considerable. Generalmente los resultados son ambiguos y en algunos casos contradictorios.

En KAMET se consideran objeto de evaluación: *la metodología para la adquisición del conocimiento de múltiples fuentes de conocimiento y el método de modelación del conocimiento*. La forma de evaluar, por otra parte, es funcionalmente. Se comparan los resultados de los objetos de evaluación con otras metodologías o desarrollos existentes tanto en las áreas de ingeniería de software como en ingeniería del conocimiento. Cabe aclarar que la evaluación se realizó contra desarrollos existentes y no contra conceptos propuestos pero irrealizables hasta el momento. Como Brooks (1995) señala apropiadamente, tanto el reto como la misión actual imponen encontrar soluciones reales a problemas reales con los recursos disponibles en un contexto determinado.

Finalmente, cabe destacar que las diferencias fundamentales que distinguen a un trabajo desarrollado siguiendo una metodología a un desarrollo conocido en el mundo de la ingeniería de software como *well-enough* son básicamente la estructuración del trabajo, la minimización de riesgos, la extensibilidad del proyecto y la escalabilidad del mismo. Un producto que fue desarrollado siguiendo una metodología cuesta generalmente tres veces más (Brooks, 1995). Tales características son propias de KAMET. El trabajo fue desarrollado siguiendo estas ideas. El manejo de riesgos es un aspecto que distingue al proyecto. En realidad, KAMET está fundamentado sobre dos grandes ideas. La primera está relacionada al modelo de espiral de Boehm (Boehm, 1988; Boehm, 1991). En este se observa el manejo del proyecto como un ciclo en el cual se revisa constantemente la situación del proyecto, se identifican y evalúan riesgos de no alcanzar los objetivos propuestos, se planean para aquellos riesgos, y se monitorean los avances del proyecto. La segunda idea está basada en la esencia del proceso cooperativo. Una sociedad de expertos puede resolver problemas de mayor complejidad, y complementar la capacidad individual principalmente en dominios donde el conocimiento es extenso, inexacto, y/o incompleto. También se reduce el tiempo de solución de tareas individuales (Cairó et al., 1994). Ambas ideas están

² Para una introducción general al método consultar Van Wegen (1996).

directamente relacionadas al principio de reducción de riesgos. Por otra parte, la extensibilidad y escalabilidad son dos características fundamentales de la metodología .

El enfoque, desarrollo y profundidad de KAMET tanto en lo que respecta a la metodología para la adquisición del conocimiento de múltiples fuentes de conocimiento, como en lo que respecta al método para la modelación del conocimiento, la hacen completamente diferente a otros trabajos. Se presentan a continuación comparaciones entre KAMET, CommonKADS³ y metodologías tradicionales⁴ de ingeniería de software (IS) como el *análisis y diseño estructurado* y la *técnica de modelación orientada a objetos*, considerando diferentes escenarios. Las dos primeras pertenecen al dominio de la ingeniería en conocimientos, las dos últimas al dominio de la ingeniería de software. Como Schreiber & Wielinga (1992) mencionan, la ingeniería de software y la ingeniería en conocimientos son campos que tienen una relación estrecha. Aunque ambos campos enfatizan diferentes aspectos en la construcción de sistemas, no existe actualmente un límite muy visible entre ambos.

5.3.1. EL CICLO DE VIDA DE KAMET, CommonKADS y METODOLOGIAS DE IS

En biología, un ciclo de vida (CV) define las fases en la vida de un animal. En el mundo de ingeniería de software e ingeniería del conocimiento se utiliza la expresión *ciclo de vida* para describir las principales fases en la vida de un software o la de una metodología (Wells, 1993). El ciclo de vida de KAMET proporciona una estructura para manejar tanto la fase de adquisición del conocimiento, como el proceso de modelación del conocimiento. El método también ayuda a establecer y facilitar formas para caracterizar y organizar el conocimiento adquirido de múltiples fuentes de conocimiento, implementar las acciones necesarias, revisar la situación del proyecto, identificar riesgos de no alcanzar los objetivos propuestos, monitorear los avances del proyecto, y controlar la calidad del mismo.

El ciclo de vida de la metodología representa una síntesis de un grupo de ideas sobre ingeniería de software, ingeniería del conocimiento, y experiencias en la construcción de sistemas basados en conocimientos. Tal influencia puede ser observada por todos aquellos que estén familiarizados con este tipo de desarrollos. En la tabla 5.1 se puede observar el contraste entre los ciclos de vida de KAMET, CommonKADS, y metodologías tradicionales de ingeniería de software como la técnica de modelación orientada a objetos y el análisis y diseño estructurado.

TABLA 5.1. Ciclos de Vida

CV EN METODOLOGIAS TRADICIONALES	CV EN CommonKADS	CV en KAMET
• Orientado a actividades.	• Orientado a resultados.	• Orientado a resultados.

³ CommonKADS es la metodología actualmente más utilizada para la construcción de SBC.

⁴ El tradicional punto de vista corresponde a dos de las metodologías que se consideran líderes en ingeniería de software: *MSA* y *OMT*. Para una discusión apropiada se recomienda al lector consultar la siguiente bibliografía (Yourdon, 1989; Rumbaugh et al., 1991).

• Estructurado por fases.	• Estructurado cíclicamente.	• Estructurado por fases.
• No hay análisis de riesgo.	• Análisis de riesgo.	• Análisis de riesgo.
• Productos intermedios.	• Producto final. Evaluación por medio de estados de los modelos.	• Productos intermedios.
• Resultado: software y documentación.	• Resultado: modelos, software y documentación.	• Resultado: modelos y documentación.
• Escalabilidad: alta.	• Escalabilidad: alta.	• Escalabilidad: alta.
• Extensibilidad: depende de la metodología.	• Extensibilidad: alta.	• Extensibilidad: alta.
• Formalidad: alta.	• Formalidad: media a alta.	• Formalidad: media.

El ciclo de vida de KAMET es:

- a. **Orientado a resultados.** El ciclo de vida se enfoca a un producto final. Este debe representar el conocimiento adquirido de múltiples fuentes de conocimiento en un dominio específico del conocimiento. Este manejo orientado a resultados no significa que no podamos definir etapas, pasos y actividades. Sin embargo, éstas se definen solo como una guía para el director del proyecto. El énfasis detrás de esta serie de definiciones está en el resultado final: *el modelo final*. Cada vez existe mayor consenso tanto en el mundo de la ingeniería de software como en el de la ingeniería en conocimientos que es mejor enfocarse en los resultados del modelo y/o producto final que especificar un conjunto rígido de actividades que se deben seguir para todo proyecto. Es prácticamente imposible definir una secuencia inflexible de actividades para todos los proyectos.
- b. **Estructurado por fases.** El ciclo de vida de KAMET está estructurado por fases. Este tipo de estructuración es clásica. Sin embargo, se considera la modelación como actividad primordial, y esto lo diferencia del ciclo de vida de metodologías convencionales. Esta es una metodología de modelación. Se definen modelos y se van refinando en las diferentes fases. Esto permite mejorar y fortalecer los modelos. Sin embargo, cabe señalar que el ciclo de vida de KAMET no tiene el poder y la flexibilidad que tiene el ciclo de vida de CommonKADS (Wells, 1993; De Hoog et al., 1997). El ciclo de vida de CommonKADS es cíclico. Sin embargo si las circunstancias lo exigen también se puede estructurar por fases.
- c. **Análisis de riesgo.** El método propuesto sigue las ideas de Boehm en lo que respecta al manejo de riesgos. La estrategia de ir reduciendo los riesgos es una parte fundamental e integral en cualquier desarrollo con KAMET. El manejo de riesgos no está claramente definido en el ciclo de vida de las metodologías tradicionales (Wells, 1993).
- d. **Productos intermedios.** Cuando se tiene un ciclo de vida estructurado por fases, se obtiene un producto intermedio al finalizar cada una de estas fases. El producto intermedio en KAMET puede ser un modelo, documentos, o ambos. La principal diferencia con las metodologías clásicas radica en que en KAMET el producto intermedio conceptualmente es el mismo. Las diferencias entre estos productos se derivan de la incorporación de nuevo conocimiento y/o mejora del mismo. Los productos intermedios en las metodologías convencionales son

conceptualmente diferentes. En el análisis y diseño estructurado se obtienen diccionarios de datos, diagramas entidad-relación, diagramas de flujo de datos y diagramas de transición de estados. En la metodología orientada a objetos se obtiene modelos diferentes para cada una de las perspectivas: datos, funcional, y control. En CommonKADS no existen productos intermedios, la evaluación se va realizando por medio de estados de los diferentes modelos.

- e. **Resultados.** KAMET genera modelos y documentación. La metodología da como resultado un producto final, el modelo final. Este expresa el conocimiento adquirido de múltiples fuentes de conocimiento en un dominio específico del conocimiento. El modelo final es un modelo de comprensión. Este tiene un nivel específico de abstracción que permite establecer coherencia entre la interpretación del conocimiento adquirido de múltiples fuentes de conocimiento y las futuras funciones del SBC. De esta forma, el puente entre los modelos y la base de conocimientos es relativamente fácil de cruzar. Respecto a la documentación, esta se genera en las diferentes fases del proyecto. A diferencia de los otros ciclos de vida, KAMET no produce software.
- f. **Formalidad.** La formalidad de la metodología actualmente es media. Esta es una de las futuras líneas de investigación. Dotar de más formalidad a la propuesta.
- g. **Escalabilidad.** El ciclo de vida de la metodología es escalable. Se puede ajustar a proyectos de diferente extensión y complejidad (Cairó et al., 1998; Cairó et al., 1997; Cairó & Villarreal, 1996; Guardati et al., 1995).
- h. **Extensibilidad.** La extensibilidad es una importante característica de KAMET. Actualmente casi el 90% de los desarrollos en metodologías y/o productos de software en el mundo actual son extensiones. Además, cada vez existe mayor consenso en el mundo de la ingeniería de software que es mejor perfeccionar algo que ya existe a iniciar un nuevo desarrollo. Las estadísticas dan la razón (Brooks, 1995). Respecto a la extensibilidad del ciclo de vida de las metodologías clásicas de ingeniería de software, cabe aclarar que mientras el ciclo de vida de la técnica de modelación orientado a objetos es extensible, el ciclo de vida del análisis y diseño estructurado no. Probablemente, esta es una de las principales diferencias entre ambas metodologías.

Cabe destacar que el análisis realizado sobre ciclos de vida considera propuestas sólidas que son de dominio público y ampliamente conocidas en el ambiente de ingeniería de software. CommonKADS es una metodología que se considera el estándar de facto para la construcción de SBC. La metodología es bien conocida y publicaciones sobre la misma circulan en todo el mundo. Estas metodologías han sido desarrolladas por grupos de expertos de diversas universidades, empresas y centros de investigación. Han tenido el apoyo de gobiernos, empresas privadas y diferentes organismos. Han demandado en esfuerzo miles de horas hombre.

5.3.2. LA MODELACION EN KAMET, CommonKADS y METODOLOGIAS DE IS

En la actualidad, la adquisición del conocimiento aún sigue siendo el principal factor que obstaculiza un buen ciclo de vida en el desarrollo de SBC. Sin embargo, las consideraciones

Capítulo 5. Evaluación y Resultados de KAMET.

respecto a la adquisición del conocimiento han ido cambiando con el tiempo. Actualmente, el principal problema parece ser debido a una falta de métodos apropiados para la modelación del conocimiento, herramientas que permitan manejar estos métodos, y concepciones acerca de como analizar e interpretar el conocimiento.

Otro problema persiste en la actualidad y seguramente continuará en el futuro. Aunque actualmente se sabe mucho acerca de la actividad bioquímica de la mente, poco se sabe de la forma en que los humanos representan el conocimiento (Vámos, 1996). La única alternativa actual consiste entonces en desarrollar un lenguaje con un vocabulario rico que permite modelar en cierta forma el conocimiento y razonamiento que los humanos utilizan para la solución de problemas. La representación, sin embargo, diferirá seguramente de la forma en que los humanos representan el conocimiento.

Finalmente, conviene enfatizar la siguiente observación. La mayoría de los métodos o teorías actuales para la modelación del conocimiento o información en muchas ocasiones no pueden representar esa porción del universo para lo cual la teoría o el método en sí fueron formulados. Esta es una restricción prácticamente de todos los métodos que no se debe ignorar. Además en la aplicación de teorías de modelación del conocimiento, el rol del ingeniero en conocimientos es fundamental. El ingeniero en conocimientos necesita tener intuición, sentido común, creatividad, la capacidad de hacer buenos juicios, de tomar buenas decisiones, etc. Aunque estas recomendaciones son muy útiles, son realmente difíciles de introducir en una teoría de modelación.

Las Tres Perspectivas en la Modelación de un Sistema

Existen básicamente tres perspectivas en la modelación de un sistema (Yourdon, 1989; Rumbaugh et al., 1991; Schreiber & Wielinga, 1992). Estas son la perspectiva de los datos, la perspectiva funcional y la perspectiva de control. La primera se enfoca en la modelación de la información esencial que se requiere en un sistema. La segunda se enfoca en la modelación de las funciones y el flujo de datos entre las mismas. La última se concentra en modelar la dinámica, y el comportamiento del sistema. Yourdon (1989) enfatiza que muchos de los debates en ingeniería de software en los últimos años ha sido acerca de cuál es la perspectiva *correcta*. Los modeladores conservadores argumentan que es necesario trabajar con la perspectiva de los datos porque estos representan la parte más estable de la aplicación. Los adeptos a los diagramas de flujo de datos argumentan que se debe trabajar con una perspectiva funcional, porque la primera es muy dependiente de la aplicación. Por último, los modeladores que trabajan en sistemas en tiempo real sostienen que la perspectiva de control es la apropiada. En realidad, la perspectiva correcta seguramente varía dependiendo de la naturaleza y complejidad de la aplicación (Schreiber & Wielinga, 1992).

Cabe señalar, que las metodologías propuestas por Yourdon (1989) y Rumbaugh et al. (1991) consideran las tres perspectivas. Por otra parte, tanto en KAMET como en CommonKADS las perspectivas están fusionadas y no se observa una clara distinción entre éstas. Además, es claro

que ambas metodologías le dan fundamental importancia y se concentran en la perspectiva de los datos⁵. Para la construcción de un SBC la representación del conocimiento es crucial.

La Perspectiva de los Datos

OMT ofrece un extensivo lenguaje de modelación de objetos para cubrir esta perspectiva. El objeto es la entidad central en un modelo de datos. Los elementos del lenguaje son clases de objetos e instancias, asociaciones, agregaciones, herencia, generalizaciones, módulos, restricciones, etc. MSA proporciona dos herramientas para describir la perspectiva de datos: el diccionario de datos y el diagrama entidad-relación. CommonKADS (Schreiber et al., 1993) proporciona un lenguaje en cierta medida similar a los diagramas entidad-relación, con ciertas generalizaciones, especializaciones, y generalizaciones. KAMET proporciona un lenguaje nuevo para la modelación del conocimiento. Este se discutió ampliamente en el capítulo anterior. Las razones para la propuesta de un nuevo lenguaje fueron explicadas. Se parte de que los métodos arriba mencionados no son suficientemente ricos para expresar el conocimiento de los expertos humanos, y por lo tanto no son prácticos para los fines de la representación del conocimiento.

Tanto en la técnica de modelación de objetos como en el análisis y diseño estructurado, reglas o procesos simples de decisión sólo se pueden describir como anotaciones textuales sobre el modelo de datos o el modelo funcional. MSA también ofrece la posibilidad de trabajar con tablas de decisión. La modelación del conocimiento, por otra parte, implica la representación de una serie de reglas, patrones y decisiones que se deben aplicar para llegar al diagnóstico de un determinado problema. Tanto en OMT como en MSA se necesitaría realizar una gran cantidad de anotaciones. Esto ocasionaría que los métodos fueron imprácticos para los fines de la modelación del conocimiento. En CommonKADS el problema se resuelve al utilizar reglas de producción. El lenguaje de modelación conceptual de KAMET fue desarrollado considerando estos aspectos, por lo tanto este tipo de problemas se soluciona fácilmente.

La Perspectiva Funcional

En el análisis y diseño estructurado se utilizan diagramas de flujo de datos (DFD). Las funciones y los datos se conectan por medio de ligas dirigidas. Estas ligas representan el flujo de datos y describen las entradas y salidas de una función. OMT utiliza diagramas similares. Sin embargo, los procesos de especificaciones son descritos como operaciones sobre una clase de objetos. En CommonKADS esta perspectiva se encuentra en los modelos de tareas y expertiz. En el modelo de tareas se describe la descomposición funcional del problema. En el modelo de expertiz se describe el conocimiento necesario para resolver esas tareas. Las entradas y salidas de las funciones se describen gráficamente en estructuras de inferencia. Una característica importante de CommonKADS es que proporciona una tipología de funciones (Breuker et al., 1987). En KAMET el problema se descompone en unidades más pequeñas, conocidas como unidades.

⁵ La perspectiva de datos puede en cierta medida confundir. Convendría hablar mejor de una perspectiva del conocimiento. Sin embargo, con este nombre se conoce tanto en el mundo de la ingeniería de software como en la de ingeniería en conocimientos.

que ambas metodologías le dan fundamental importancia y se concentran en la perspectiva de los datos⁵. Para la construcción de un SBC la representación del conocimiento es crucial.

La Perspectiva de los Datos

OMT ofrece un extensivo lenguaje de modelación de objetos para cubrir esta perspectiva. El objeto es la entidad central en un modelo de datos. Los elementos del lenguaje son clases de objetos e instancias, asociaciones, agregaciones, herencia, generalizaciones, módulos, restricciones, etc. MSA proporciona dos herramientas para describir la perspectiva de datos: el diccionario de datos y el diagrama entidad-relación. CommonKADS (Schreiber et al., 1993) proporciona un lenguaje en cierta medida similar a los diagramas entidad-relación, con ciertas generalizaciones, especializaciones, y generalizaciones. KAMET proporciona un lenguaje nuevo para la modelación del conocimiento. Este se discutió ampliamente en el capítulo anterior. Las razones para la propuesta de un nuevo lenguaje fueron explicadas. Se parte de que los métodos arriba mencionados no son suficientemente ricos para expresar el conocimiento de los expertos humanos, y por lo tanto no son prácticos para los fines de la representación del conocimiento.

Tanto en la técnica de modelación de objetos como en el análisis y diseño estructurado, reglas o procesos simples de decisión sólo se pueden describir como anotaciones textuales sobre el modelo de datos o el modelo funcional. MSA también ofrece la posibilidad de trabajar con tablas de decisión. La modelación del conocimiento, por otra parte, implica la representación de una serie de reglas, patrones y decisiones que se deben aplicar para llegar al diagnóstico de un determinado problema. Tanto en OMT como en MSA se necesitaría realizar una gran cantidad de anotaciones. Esto ocasionaría que los métodos fueron imprácticos para los fines de la modelación del conocimiento. En CommonKADS el problema se resuelve al utilizar reglas de producción. El lenguaje de modelación conceptual de KAMET fue desarrollado considerando estos aspectos, por lo tanto este tipo de problemas se soluciona fácilmente.

La Perspectiva Funcional

En el análisis y diseño estructurado se utilizan diagramas de flujo de datos (DFD). Las funciones y los datos se conectan por medio de ligas dirigidas. Estas ligas representan el flujo de datos y describen las entradas y salidas de una función. OMT utiliza diagramas similares. Sin embargo, los procesos de especificaciones son descritos como operaciones sobre una clase de objetos. En CommonKADS esta perspectiva se encuentra en los modelos de tareas y expertiz. En el modelo de tareas se describe la descomposición funcional del problema. En el modelo de expertiz se describe el conocimiento necesario para resolver esas tareas. Las entradas y salidas de las funciones se describen gráficamente en estructuras de inferencia. Una característica importante de CommonKADS es que proporciona una tipología de funciones (Breuker et al., 1987). En KAMET el problema se descompone en unidades más pequeñas, conocidas como unidades.

⁵ La perspectiva de datos puede en cierta medida confundir. Convendría hablar mejor de una perspectiva del conocimiento. Sin embargo, con este nombre se conoce tanto en el mundo de la ingeniería de software como en la de ingeniería en conocimientos.

Capítulo 5. Evaluación y Resultados de KAMET.

funcionales o subproblemas. La solución de cada uno de estas unidades funcionales permitirá la solución del problema final. Las entradas y salidas de las unidades funcionales se describen gráficamente por medio de una estructura de inferencias (ver sección 4.2). La filosofía de KAMET es acorde con la propuesta de Chandrasekaran (1982, 1987), quien señala que el conocimiento no puede ser separado de su uso. También está muy relacionado a la propuesta de Clancey (1985), en la medida que el dominio del conocimiento se descompone en subdominios del conocimiento o áreas de trabajo. Clancey señala que funciones diferentes del conocimiento son explicadas al separar el dominio del conocimiento.

La interacción entre la perspectiva de los datos y la perspectiva funcional es probablemente uno de los puntos más críticos en el desarrollo de sistemas (Schreiber & Wielinga, 1992). Yourdon describe en sus experiencias la situación frecuente donde dos grupos, el de la perspectiva de los datos y el de la perspectiva funcional, comienzan a trabajar paralelamente en el problema y llegan a resultados diferentes, difíciles de compatibilizar. Respecto a la forma de relacionar la perspectiva de los datos y la perspectiva funcional, la situación es similar tanto en MSA como en OMT. Existen ligas entre el modelo de datos y el modelo funcional que evitan la reusabilidad posterior de esos modelos. Tanto en CommonKADS como en KAMET los datos no están separados de su uso y por lo tanto no ocurren los problemas mencionados por Yourdon.

La Perspectiva del Control

Tanto en OMT como en MSA utilizan diagramas de transición de estados para describir el control o el comportamiento del sistema. El lenguaje de modelación de objetos emplea una técnica de transición de estado desarrollada por Harel (1987). Esta consiste de seis tipos de elementos: estados, ligas de transición de estados, eventos, condiciones, actividades y acciones. El análisis y diseño estructurado utiliza diagramas de transición de estados más simples. En OMT la conexión entre las diferentes perspectivas se logra por medio de actividades y acciones. En MSA se utilizan *burbujas de control* para describir relaciones de control en el diagrama de flujo de datos. La descripción del control se enfoca en OMT y MSA en la relación entre el sistema y los agentes externos (usuarios y otros sistemas).

Por otra parte, tanto en CommonKADS como en KAMET, el control se establece al especificar estrategias del conocimiento. Los mecanismos de control están inmersos en los modelos construidos. Como se puede observar, ninguna de estas metodologías proporciona un formato específico para tales descripciones. Ambas también se enfocan en el control interno del comportamiento del modelo y/o sistema. Probablemente como Schreiber & Wielinga (1992) señalan esto es debido a la característica particular que tienen los SBC.

A continuación en la siguiente sección se presenta la comparación con otros trabajos del área que tienen características similares a KAMET.

5.3.3. KAMET Y OTROS TRABAJOS SIMILARES

Uno de los primeros trabajos en adquisición del conocimiento fue desarrollado por Cooke y McDonald (1986). En este trabajo se mencionan, en forma temprana, los problemas asociados a la elicitación del conocimiento. Expresan que no existe un proceso bien definido para realizar la AI y que éste se observa más como un arte que como una tarea ingenua, en la medida que no se utilizan métodos formales para realizar el proceso correspondiente. Cooke y McDonald aplicaron el uso de métodos formales para realizar la elicitación del conocimiento, pero en su artículo no describen ninguno. Solo discuten la utilidad de algunas técnicas, que solo son aplicadas al primer paso de elicitación del conocimiento. Estas técnicas y otras se comentan ampliamente en nuestro trabajo en la sección 3.3.10. En realidad, el principal problema del trabajo de Cooke y McDonald es considerar la adquisición del conocimiento como una actividad de elicitación, estructurada y rutinaria, en lugar de considerarla como una actividad de inducción. Una consecuencia directa de muchos de los problemas psicológicos y psicológicos asociados a la adquisición del conocimiento, es ésta es vista como una actividad de extracción de conocimientos de expertos (Hollnagel, 1987).

El trabajo desarrollado por Bost et al. (1987) representa una muy buena guía para la AI de adquisición del conocimiento. Muchos de los conceptos mencionados en su libro han sido utilizados por otros autores para describir el conocimiento experto. Bost et al. es una guía excelente. El libro es una maravillosa guía para aprender, con un gran número de ejemplos y un lenguaje claro y sencillo para la adquisición del conocimiento. Una excelente referencia de adquisición de conocimiento de múltiples fuentes de información.

Para el lector interesado en el aprendizaje automático y la adquisición de conocimiento del conocimiento de múltiples fuentes de información, el libro de Bost et al. es una excelente referencia. El libro es una maravillosa guía para aprender, con un gran número de ejemplos y un lenguaje claro y sencillo para la adquisición del conocimiento. Una excelente referencia de adquisición de conocimiento de múltiples fuentes de información.

5.3.3. KAMET Y OTROS TRABAJOS SIMILARES

Uno de los primeros trabajos en adquisición del conocimiento fue desarrollado por Cooke & McDonald (1986). En este trabajo se menciona, en forma temprana, los problemas asociados a la elicitación del conocimiento. Expresan que no existe un proceso bien definido para realizar la AC y que éste se observa más como un arte que como una tarea ingenieril, en la medida que no se utilizan métodos formales para realizar el proceso correspondiente. Cooke y McDonald sugieren el uso de métodos formales para realizar la elicitación del conocimiento, pero en su artículo no describen ninguno. Solo discuten la utilidad de algunas técnicas, que solo son aplicables al proceso de elicitación del conocimiento. Estas técnicas y otras se comentan ampliamente en nuestro trabajo en la sección 3.3.10. En realidad, el principal problema del trabajo de Cooke y McDonald es considerar la adquisición del conocimiento como una actividad de elicitación, extracción y minería, en lugar de considerarla como una actividad de modelación. Esta consideración elimina muchos de los problemas psicológicos y prácticos asociados a la adquisición del conocimiento, si ésta es vista como una actividad de extracción de conocimiento de expertos humanos (Breuker, 1987).

El trabajo desarrollado por Scott et al. (1991) representa una muy buena guía para la fase de adquisición del conocimiento. Muchas de las actividades involucradas en la fase de adquisición del conocimiento se describen en forma detallada en su trabajo. Cabe destacar, sin embargo, que mientras el trabajo de Scott et al. es una guía excelente, KAMET es una metodología basada en modelos, con un ciclo de vida y un método para la modelación del conocimiento, para manejar la adquisición del conocimiento de múltiples fuentes de conocimiento.

Barret & Edwards (1995) describen en su propuesta aspectos relativos a la adquisición y representación del conocimiento de múltiples expertos en un dominio grande y complejo. El esfuerzo del trabajo, más que en la descripción de un método formal para manejar la elicitación y representación del conocimiento de múltiples expertos, radica en la descripción de un problema perteneciente a un dominio grande y complejo y la utilización de técnicas formales para resolver al mismo. Cabe destacar, sin embargo, que aunque completamente diferentes, los nombres de las propuestas son muy similares. Esto es algo que llama la atención. Actualmente, se encuentra en la literatura una gran cantidad de trabajos cuyos títulos son muy similares a: *metodologías para la adquisición del conocimiento de múltiples expertos* (Mittal & Dym, 1987; La Salle & Medsker, 1991; Taylor et al., 1994; Medsker et al., 1995). Sin embargo, en sus propuestas solo utilizan ciertas técnicas derivadas del proceso de elicitación del conocimiento para resolver una aplicación en particular. En estos artículos no se observa una formalización del método necesario para realizar la fase de adquisición del conocimiento, ni tampoco presentan un método para la modelación del conocimiento.

5.4. RESULTADOS DE KAMET

En general, los resultados de la metodología son satisfactorios. Se ha aplicado con éxito en diferentes dominios del conocimiento (Cairó et al., 1998; Cairó et al., 1997; Cairó & Villareal, 1996; Guardati et al., 1995). Sin embargo, la metodología requiere ahora del uso, y la retroalimentación de investigadores que trabajen en el área, y de su uso y experimentación en diferentes dominios del conocimiento. Esto indudablemente generará ideas, comentarios, puntos de vista, sobre la metodología en sí, sobre el ciclo de vida de la misma, sobre las diferentes etapas, sobre los pasos que constituyen las mismas, sobre las diferentes actividades asignadas a los pasos, sobre el método para la modelación del conocimiento, sobre sus especificaciones formales, etc. Esto nos permitirá observar cuales son los puntos fuertes y débiles de la metodología. Los resultados de esta exploración indudablemente serán extremadamente útiles y seguramente comenzarán a ser visibles en el futuro.

Cabe recordar que el ciclo de vida de KAMET se enfoca en un producto final: *el modelo final*. Las diferentes etapas, pasos y actividades descritas de la metodología fueron especificadas para lograr este producto final. Se obtienen también productos intermedios porque el ciclo de vida está estructurado por fases. Sin embargo, como se explicó anteriormente, los modelos intermedios son conceptualmente idénticos. Las diferencias radican en la incorporación de nuevo conocimiento o la mejora del existente. Es decir, los modelos se van refinando en las diferentes fases. Esto permite mejorarlos y disminuir los riesgos.

Se presenta a continuación la modelación del conocimiento de un caso perteneciente al dominio médico. En el mismo se pueden observar los resultados de la modelación al aplicar la metodología.

5.4.1. MODELACION DEL CONOCIMIENTO EN EL DOMINIO MEDICO

En esta sección se presenta la modelación del conocimiento de dolores de cabeza, neuralgias craneales y dolores faciales. Primeramente se presenta la introducción al problema, se muestran los modelos construidos y finalmente se comenta sobre la verificación y validación de los modelos.

5.4.1.1. Introducción al problema

Una dolencia común en la mayoría de los seres humanos es el dolor de cabeza. Algunos de estos dolores son fáciles de mitigar con analgésicos o un poco de descanso. Otros, sin embargo, son persistentes y se pueden convertir en crónicos. Este tipo de dolor se conoce en el campo médico con el nombre de cefalea. En salud pública la cefalea representa un problema importante. Es uno de los 10 síntomas presentes más comunes en la medicina general y se considera una de las causas principales de ausencia al trabajo por enfermedad, ocasionando por lo tanto millones de días de trabajo perdidos cada año.

Uno de los estudios sistemáticos más ambiciosos realizado para establecer la prevalencia de la cefalea, mostró que el 78% de las mujeres y el 64% de los hombres habían experimentado por lo menos una cefalea en el año anterior al estudio. En otra investigación, se pudo observar que el 36% de las mujeres y el 19% de los hombres padecían cefaleas en forma recurrente.

En México, actualmente el porcentaje de pacientes que visitan al médico general por causa de cefaleas es aproximadamente del 40%⁶. La mayoría de estos son derivados a médicos especialistas para su diagnóstico y tratamiento. La relación pacientes-médico especialista, por otra parte, es muy alta en el país. La población portadora de algún tipo de cefaleas es enorme y los recursos humanos son muy pocos. Además, estos se concentran principalmente en las grandes urbes del país. Las estadísticas muestran que en ciertas zonas geográficas de México hay un médico general por cada 1000 habitantes. Otro problema adicional, lo representa el elevado costo en el diagnóstico para gran parte de la población, considerando la falta de recursos económicos en muchos núcleos familiares.

Motivados principalmente por los problemas señalados en los párrafos anteriores, surge la idea de desarrollar HeadExpert (Cairó et al., 1998; Cairó et al., 1997), un SBC que realiza el diagnóstico de cefaleas, dolores craneales y faciales, considerando el conocimiento y la experiencia de expertos humanos de la región y los criterios clínicos de la Sociedad Internacional de Cefaleas (IHS, 1988). El conocimiento local es muy importante porque existen elementos tales como el área geográfica (clima, orografía, etc.) y hábitos alimenticios, entre otros que influyen en el desarrollo e ciertas enfermedades.

5.4.1.2. La modelación del conocimiento de dolores de cabeza, neuralgias craneales y dolores faciales

En la figura 5.1 se puede observar la clasificación de los diferentes dolores de cabeza, neuralgias craneales y dolores faciales.

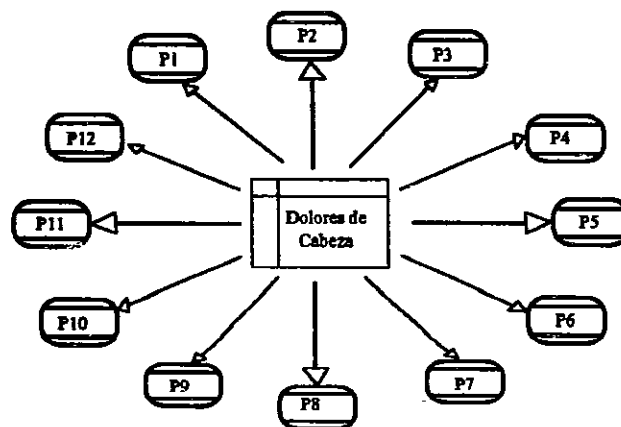


FIGURA 5.1. Diagrama general de dolores de cabeza, neuralgias craneales y dolores faciales.

⁶ Información proporcionada por la Asociación Mexicana para el Estudio de las Cefaleas, A.C.

Capítulo 5. Evaluación y Resultados de KAMET.

Donde:

P1. Migraña.

P2. Dolor de cabeza tipo-tensional.

P3. Dolor de cabeza tipo cluster o en racimos y hemicránea paroxismal crónica.

P4. Dolor de cabeza varios no asociados con lesión estructural.

P5. Dolor de cabeza asociado con trauma.

P6. Dolor de cabeza asociado con desórdenes vasculares.

P7. Dolor de cabeza asociado con desórdenes intracraneales no-vasculares.

P8. Dolor de cabeza asociado con sustancias.

P9. Dolor de cabeza asociado con infección no-cefálica.

P10. Dolor de cabeza asociado con desorden metabólico.

P11. Dolor de cabeza o facial asociado con desorden del cráneo, cuello, ojos, oídos, nariz, cavidades, dientes, boca o alguna otra estructura facial o craneal.

P12. Neuralgias craneales, dolor del tronco craneal y dolor de diferenciación.

P13. Dolor de cabeza no clasificable.

Cabe enfatizar, que en la práctica rutinaria en la mayoría de los hospitales, clínicas y centros en general de salud, el diagnóstico para detectar dolores de cabeza, neuralgias craneales y dolores faciales se realiza al nivel de uno o dos dígitos. Sin embargo en centros especializados, el diagnóstico se realiza al nivel de cuatro dígitos⁷. Esto implica una mayor profundidad en la investigación para determinar el diagnóstico.

Los modelos se construyeron de manera jerárquica y se aplicó un criterio de diagnóstico operacional para resolver todos los problemas. El sistema de codificación jerárquica, hace posible utilizar la clasificación a diferentes niveles de sofisticación. El diagnóstico operacional, por otra parte, es la única forma de asegurar una variabilidad razonable en el diagnóstico. Las tablas correspondientes a los síntomas, antecedentes, tiempos y valores, respectivamente utilizados para los diferentes modelos se presentan en el primer apéndice.

Modelos del Grupo 1: Migraña

El primer grupo dentro de la clasificación, corresponde a migraña. Los síntomas premonitorios de cualquier tipo de migraña son hiperactividad, hipoactividad, depresión, anhelo de algunas comidas especiales, *jawning* repetitivo y síntomas atípicos similares. Estos síntomas se presentan horas o uno o dos días antes del ataque de migraña. La descomposición de este primer grupo se observa en la figura 5.2.

⁷ El código para el cuarto dígito de los grupos 2 y de los grupos 5-11 se encuentra al final del primer apéndice.

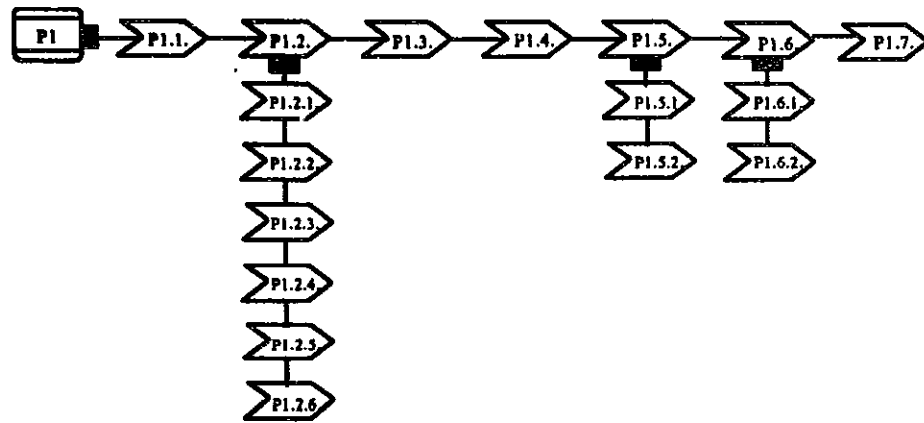


FIGURA 5.2. Diagrama general de migraña.

Donde:

P1.Migraña sin aura.

P2.Migraña con aura.

P1.2.1.Migraña con aura típica.

P1.2.2.Migraña con aura prolongada.

P1.2.3.Migraña familiar hemipléjica.

P1.2.4.Migraña basilar.

P1.2.5.Aura migrañosa sin dolor de cabeza.

P1.2.6.Migraña con aura aguda.

P3.Migraña oftalmopléjica.

P4.Migraña retinal.

P5.Síndromes periódicos de la niñez que pueden ser precursores o asociados con migraña.

P5.1.Vértigo paroxismal benigno de la niñez.

P5.2.Hemiplejía alternativa de la niñez.

P6.Complicaciones de migraña.

P1.6.1.Estado migrañoso.

P1.6.2.Infarto debido a migraña.

P7.Otros.

A continuación se presentan todos los modelos correspondientes a migraña. Estos son los modelos finales obtenidos luego de aplicar la metodología.

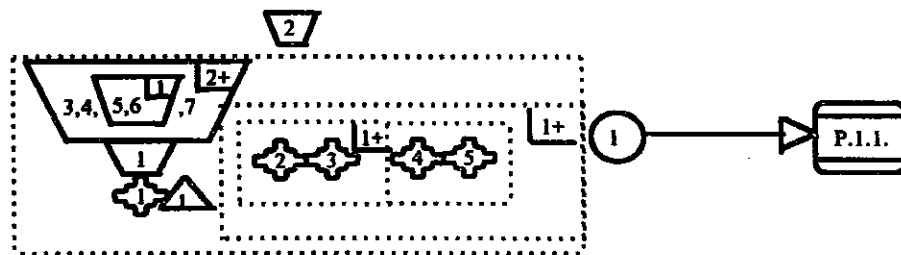


FIGURA 5.3. Migraña sin aura.

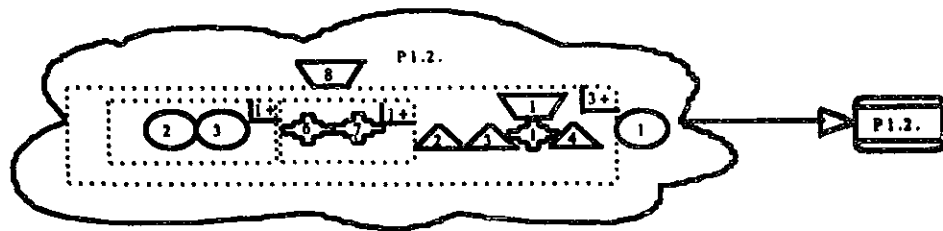


FIGURA 5.4. Migraña con aura.

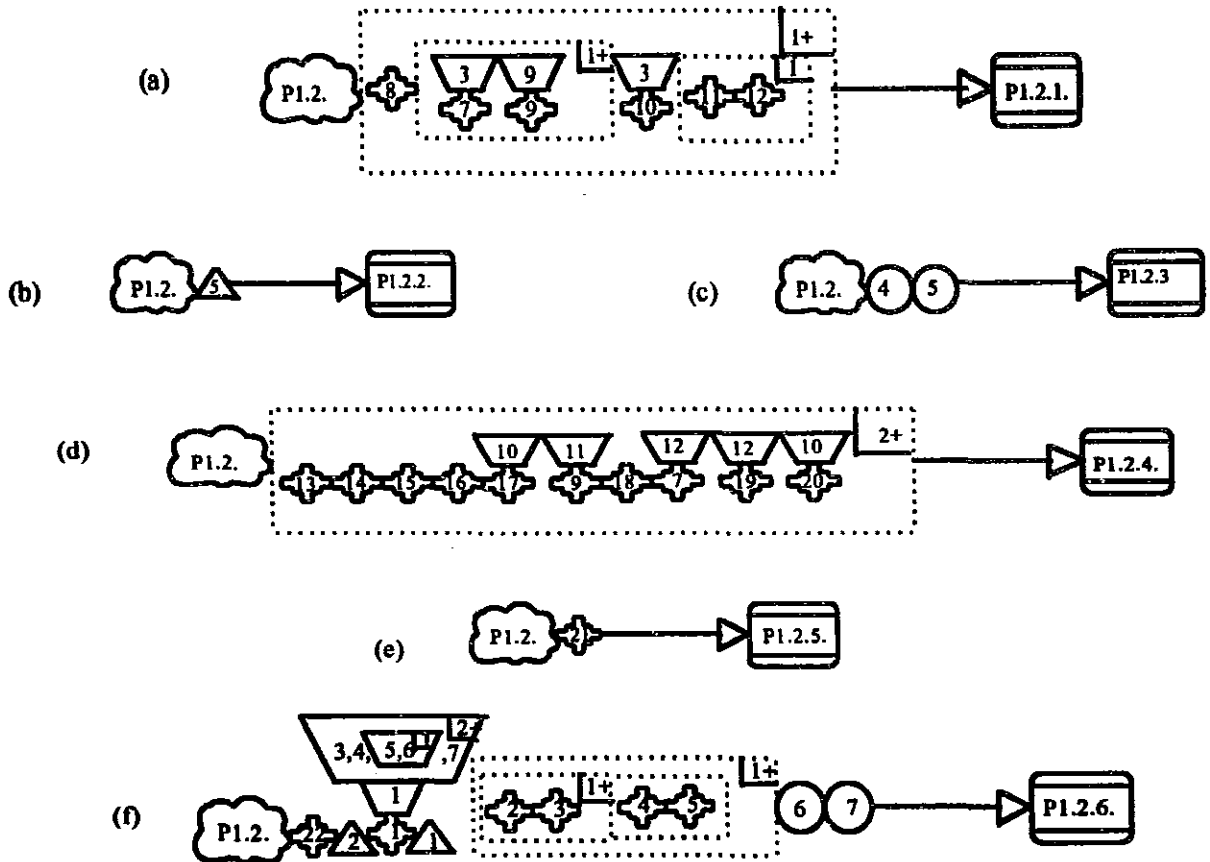


FIGURA 5.5. Migraña con aura: (a) migraña con aura típica; (b) migraña con aura prolongada; (c) migraña familiar hemipléjica; (d) migraña basilar; (e) aura migrañosa sin dolor de cabeza; y (f) migraña con aura aguda.

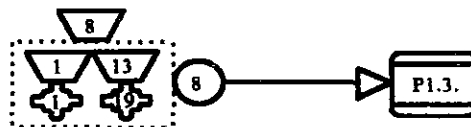


FIGURA 5.6. Migraña oftalmopléjica.

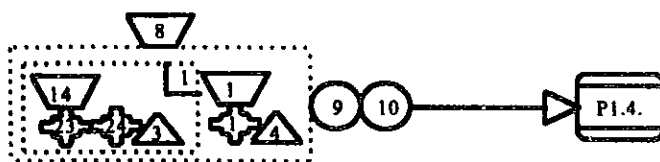


FIGURA 5.7. Migraña retinal.

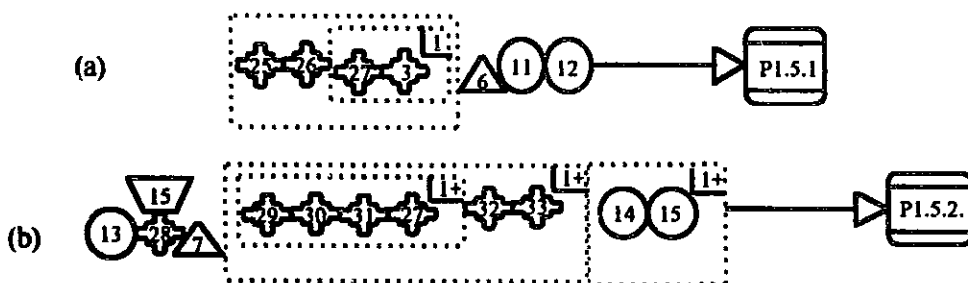


FIGURA 5.8. Vértigo paroxismal benigno de la niñez (a) y hemiplejía alternativa de la niñez (b).

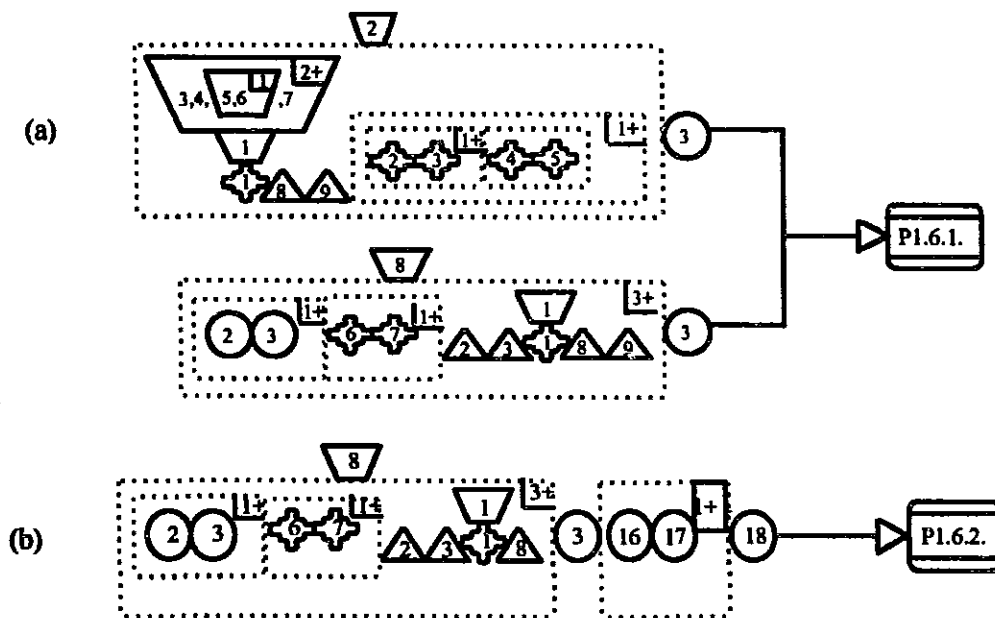


FIGURA 5.9. Estado migrañoso (a) e infarto debido a migraña (b).

Los modelos correspondientes a los otros grupos presentados en la figura 5.1, se pueden observar completos en el apéndice 1.

5.4.1.3. Verificación y validación de los modelos

La validación y verificación de los modelos arrojaron resultados excelentes. Se probaron 72 casos clínicos registrados en la base de casos del Instituto Nacional de Neurología y el resultado fue de 100% de efectividad. El método que se aplicó para la verificación y validación de los modelos es verificación predictiva (sección 3.3.7.2).

Cabe destacar, que el conocimiento de los modelos fue transferido a reglas de producción con el objetivo de construir el SBC HeadExpert. El sistema también fue verificado y validado. Los resultados, aunque satisfactorios, fueron diferentes a los observados en puntos anteriores. Los métodos que se aplicaron en este caso son validación predictiva y una variante de la prueba de Turing, conocida con el nombre de prueba de Chandrasekaran. Los resultados de la verificación y validación se pueden observar en la tabla 5.2.

TABLA 5.2. Verificación y validación del SBC.

GRUPO DE LA CLASIFICACION	VALIDACION PREDICTIVA	PRUEBA DE CHANDRASEKARAN	NUMERO DE CASOS
<i>Migraña</i>	95.65%	95.65%	16
<i>Dolor de cabeza tipo tensional</i>	87.50%	90.00%	8
<i>Dolor de cabeza tipo cluster o en racimos, y hemicránea paroxismal crónica</i>	100.00%	84.61%	1
<i>Misceláneas</i>	92.30%	88.23%	13
<i>Neuralgias craneales</i>	75.00%	75.00%	12

Las diferencias entre la verificación y validación de los modelos y el sistema basado en conocimientos radica en que las reglas de producción no son suficientemente flexibles para expresar el conocimiento que existe en los modelos. Estos últimos expresan una situación ideal. Al cuando se *corre* un caso en el SBC una de las condiciones de la regla no es cumplida o se desconoce el valor de la condición, entonces ésta se toma como falsa, no permite representar la ignorancia-. Como resultado, la regla no se puede aplicar y el caso no se puede determinar. Una es la razón fundamental entre estas diferencias. Actualmente, se está trabajando en el SBC para mejorar el desempeño del mismo.

Capítulo 5. Evaluación y Resultados de KAMET.

Cabe destacar, que el conocimiento de los modelos fue transferido a reglas de producción con el objetivo de construir el SBC HeadExpert. El sistema también fue verificado y validado. Los resultados, aunque satisfactorios, fueron diferentes a los obtenidos en primer término. Los métodos que se aplicaron en este caso son validación predictiva y una variación de la prueba de Turing, conocida con el nombre de prueba de Chandrasekaran. Los resultados de la verificación y validación se pueden observar en la tabla 5.2.

TABLA 5.2. Verificación y validación del SBC.

GRUPO DE LA CLASIFICACION	VALIDACION PREDICTIVA	PRUEBA DE CHANDRASEKARAN	NUMERO DE CASOS
<i>Migraña</i>	95.65%	95.65%	36
<i>Dolor de cabeza tipo tensional</i>	87.50%	90.00%	8
<i>Dolor de cabeza tipo cluster o en racimos, y hemicránea paroxismal crónica</i>	100.00%	84.61%	3
<i>Misceláneas</i>	92.30%	88.23%	13
<i>Neuralgias craneales</i>	75.00%	75.00%	12

Las diferencias entre la verificación y validación de los modelos y el sistema basado en conocimientos radica en que las reglas de producción no son suficientemente ricas como para expresar el conocimiento que existe en los modelos. Estos últimos expresan una situación ideal. Si cuando se *corre* un caso en el SBC una de las condiciones de la regla no se cumple o se desconoce el valor de la condición, entonces ésta se toma como falsa -no permite representar la ignorancia-. Como resultado, la regla no se puede aplicar y el caso no se puede demostrar. Esa es la razón fundamental entre estas diferencias. Actualmente, se está trabajando en el SBC para mejorar el desempeño del mismo.

La teoría del anamnesis dice que todo conocimiento es una reminiscencia. El alma ha contemplado las ideas en una experiencia preterrena y se acuerda de ellas con ocasión de la percepción sensible. Esta no tiene entonces la significación de un fundamento del conocimiento espiritual, sino tan sólo la significación de un estímulo.

CAPITULO 6

Conclusiones y Líneas Futuras

6

En esta tesis se ha presentado una metodología para la adquisición del conocimiento de múltiples fuentes de conocimiento y un método para la modelación del conocimiento. Se presentan en este capítulo las conclusiones generales del trabajo y las líneas futuras del mismo.

6.1. CONCLUSIONES

La metodología propuesta representa un intento por formalizar la fase de adquisición del conocimiento de múltiples fuentes de conocimiento. El objetivo de KAMET, es en cierta medida, mejorar la fase de adquisición del conocimiento y el proceso de modelación del conocimiento, haciendo a éstos más eficientes. Hay dos aportaciones fundamentales en la propuesta. La primera está fuertemente relacionada con la fase de adquisición del conocimiento en sí. La segunda está muy ligada a la modelación del conocimiento. Se presenta en nuevo método, diferente, y suficientemente rico como para modelar el conocimiento adquirido de múltiples fuentes de conocimiento. Los aspectos e ideas más importantes del trabajo se resumen a continuación:

- a. El metodología desarrollada proporciona un mecanismo sólido para realizar la adquisición del conocimiento de múltiples fuentes de conocimiento en forma incremental, por etapas y en un ambiente de cooperación. El número y tipo de etapas, las entradas y salidas para cada una de ellas, los pasos que componen las mismas, así como las actividades que conforman los pasos es resultado de un proceso cuidadoso de investigación y pruebas posteriores. Sin embargo, el énfasis detrás de esta serie de descripciones está en el resultado final: el modelo final. Las etapas, pero principalmente los pasos y actividades, fueron definidos sólo como una guía para el director del proyecto. No representan una secuencia inflexible que se debe seguir para todo proyecto. La metodología descrita, desde nuestro punto de vista, puede ser aplicada para solucionar satisfactoriamente un gran rango de aplicaciones, principalmente de diagnóstico (Cairó et al., 1998; Cairó & Villarreal, 1996; Guardati et al., 1995).
- b. El desarrollo de KAMET fue inspirado en dos grandes ideas: el modelo de espiral de Boehm (Boehm, 1988; Boehm 1991), y en la esencia del procesamiento cooperativo. Ambas ideas, están completamente relacionadas con el principio de reducción de riesgos. Este es de fundamental importancia en cualquier manejo de proyecto con KAMET.

- c. El enfoque, desarrollo y profundidad de KAMET tanto en lo que respecta a la metodología para la adquisición del conocimiento de múltiples fuentes de conocimiento, como en lo que respecta al método para la modelación del conocimiento, la hacen completamente diferente a otros trabajos. El tipo de conocimiento que permite adquirir, el tipo de aplicaciones que permite resolver, la posibilidad de trabajar con múltiples fuentes de conocimiento, y la posibilidad de realizar estas actividades de una manera muy organizada la hacen diferente a otras propuestas. Las características más importantes del ciclo de vida de la metodología son: estructurado por fases, manejo orientado por resultados, manejo orientado por riesgos, productos intermedios, escalable, extensible y control de calidad.
- d. La riqueza y expresividad del método de modelación del conocimiento es más grande que la de otros métodos conocidos. El método permite representar el conocimiento a un mayor nivel de abstracción que las técnicas tradicionales. El lenguaje de modelación conceptual de KAMET proporciona un rico vocabulario en el cual la expertiz se puede expresar de una forma flexible y apropiada. Cabe destacar que los otros métodos para modelación no pueden modelar el conocimiento al nivel de detalle que se logra en la propuesta. Prácticamente no consideran ninguno de los componentes estructurales descritos en la misma: *síntomas, antecedentes, soluciones, tiempos, valores, inexactitudes, procesos, fórmulas y estudios*. Tampoco consideran diferentes reglas de composición -ligas entre nodos-.
- e. El proceso de asignación definido en las convenciones diagramáticas (ver sección 4.3.1.) permite reusar un nodo en cualquier otra parte del modelo sin tener que redefinir al mismo. Esto permite reusar un nodo completo no solamente en forma, sino también en contenido. El proceso de asignación, indudablemente, permite flexibilidad en la modelación.
- f. La cooperación entre agentes inteligentes y la integración del conocimiento, razonamiento y estrategias de diferentes expertos, indudablemente, permite optimizar el resultado final. Los modelos, de esta forma, son más sólidos y fuertes.
- g. La aplicación desarrollada en el dominio de la neurología demuestra la efectividad de la propuesta. Aplicando la metodología se pudo adquirir y modelar el conocimiento de un área médica extensa y muy compleja: *la neurología*. Se pudo adquirir y modelar a un nivel de cuatro dígitos de precisión el conocimiento necesario para diagnosticar dolores de cabeza, neuralgias craneales y dolores faciales. Cabe destacar, que este nivel de precisión es el que se utiliza solamente en los centros especializados de diagnóstico del país.

El método propuesto está integrado con literatura actual, pretende ser general, aunque está dirigido principalmente a problemas de diagnóstico. El enfoque, desarrollo y profundidad de la propuesta tanto en lo que respecta a la metodología para la adquisición del conocimiento, como en lo que respecta al método para la modelación del conocimiento, la hacen completamente diferente a otros trabajos.

Finalmente, cabe destacar que el método propuesto no se puede visualizar como una panacea. El trabajo, principalmente en lo que respecta al método para modelar el conocimiento, requiere aún

de mayor esfuerzo y sobre todo de la retroalimentación de investigadores que trabajan en el área. Las ideas generadas permitirán observar los puntos fuertes y débiles de la propuesta. Los resultados de la exploración comenzarán a ser visibles en el futuro. Actualmente, KAMET es un método riguroso que comprende un gran número de técnicas, estructura el trabajo y hace más eficientemente el proceso de adquirir y modelar el conocimiento y razonamiento de múltiples fuentes de conocimiento.

6.2. LINEAS FUTURAS

La metodología para la modelación del conocimiento de múltiples fuentes de conocimiento y el método para la modelación del conocimiento están sujetos a revisión y cambios. Sin embargo, los principales elementos que caracterizan el trabajo parecen estar actualmente suficientemente estables. Los cambios en particular, se podrían derivar tanto por el uso, la evaluación, y la retroalimentación de otros investigadores que trabajen en el área, como de futuros desarrollos con la metodología. Los resultados de esta exploración seguramente nos permitirá observar los puntos fuertes y débiles de KAMET, y trabajar sobre estos últimos. La metodología es extensible, y por tal razón no existen inconvenientes para introducir ciertos cambios. Esto además permitiría fortalecer al trabajo.

Existen, por otra parte, dos líneas de investigación en las cuales se piensa trabajar en el futuro cercano. La primera está orientada a explorar una nueva forma de monitorear los avances del proyecto. Este es un punto que aún no fue resuelto en su totalidad y causa inconvenientes a todos aquellos que se ven involucrados en el desarrollo de proyectos. Un paso o una actividad se pueden considerar confiables y válidas se aplican las técnicas apropiadas, pero pueden estar incompletas. La incompletitud puede resultar por diferentes razones. En general, la retroalimentación, el uso de técnicas multidimensionales y el trabajo en un ambiente de colaboración son generalmente útiles para incrementar la completitud. Sin embargo, no son suficientes. Actualmente, se está analizando la posibilidad de introducir estados como una forma para controlar mejor las diferentes actividades involucradas en el proyecto.

El uso de estados, por otra parte, haría más fácil el proceso de evaluación en la medida que facilitaría la intervención de evaluadores externos. DeMarco (1982) ha probado que casi para cualquier desarrollo de proyectos es necesario mantener al evaluador fuera del equipo de trabajo. Cuando el evaluador forma parte del grupo de trabajo y tiene un rol importante en el proyecto, es relativamente fácil para éste mostrar que el proyecto se está realizando a tiempo, arreglar cualquier documento o valor y mencionar que este fue realizado a tiempo, o decir que está completo o hecho (DeMarco, 1982).

La otra línea en la cual se considera conveniente trabajar está relacionada con el método de modelación del conocimiento. Actualmente este se aplica de forma manual. Es conveniente automatizar al mismo, desarrollando un editor para la construcción de los modelos. El esfuerzo en el futuro también estará centrado en la construcción de este editor.

Referencias

- Alexander, J.; Freilling, M. & Schulman, S. (1986). Knowledge Level Engineering: Ontological Analysis. *Proceedings of the National Conference on Artificial Intelligence*, pp.963-968.
- Balci, O. & Sargent, R. (1983). Validation of Multivariate Responses Trace-Driven Simulation Models. *Performance '83. A.K. Agrawala and S. Tripathi, Eds. North Holland. New York.*
- Balci, O. & Sargent, R. (1984). Validation of Simulation Models via Simultaneous Confidence Intervals. *American Journal Math. and Management Science*, 4(3,4).
- Barrett, A. & Edwards, J. (1995). Knowledge Elicitation and Knowledge Representation in a Large Domain with Multiple Experts. *Expert Systems With Applications*, 8(1).
- Batty, D. & Kamel, M. (1995). Automatic Knowledge Acquisition: A Propositional Approach to Representing Expertise as an Alternative to Repertory Grid Technique. *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, 7 (1), 53-67.
- Berkeley, D.; de Hoog, R. & Humphreys, P. (1990). *Software Development Project Management*. Ellis Horwood Books in Information Technology.
- Beth, E. (1959). *The Foundations of Mathematics*. Studies in Logic and the Foundations of Mathematics. North- Holland Publishing Company. Amsterdam.
- Beth, E. & Piaget, J. (1966). *Mathematical Epistemology and Psychology*. Trans. W. Mays. Dordrecht: D. Reidel Publishing Company.
- Boehm, B. (1991). Software risk management: principles and practice. *IEEE Software*, pp32-41.
- Boehm, B. (1988). A spiral model of software development and enhancement. *IEEE Computers*, pp61-72.
- Boehm, B. (1981). *Software Engineering Economics*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs.
- Breuker, J. & Wielinga, B. (1989). *Models of Expertise in Knowledge Acquisition*. Guida, G. & Tasso, C. (Eds). Topics in Expert Systems Design: methodologies and tools. North Holland Publishing Company, Amsterdam, The Netherlands.
- Breuker, J. (1987). *Model Driven Knowledge Acquisition: Interpretation Models*. In Breuker (Eds). Deliverable A1, Esprit Project 1098, memo 87, VF Project Knowledge Acquisition in Formal Domains. University of Amsterdam, The Netherlands.
- Breuker, J.; Wielinga, B.; Van Someren, M.; de Hoog, R.; Schreiber, A.; de Greef, P.; Bredeweg, B.; Wielemaker, J.; Billault, J.; Davoodi, M. & Hayward, S. (1987). *Model Driven Knowledge Acquisition: Interpretation Models*. ESPRIT Project P1098 Deliverable D1, University of Amsterdam and STL Ltd.
- Brooks, F. (1995). *The Mythical Man-Month. Essays on Software Engineering Anniversary Edition*. Addison-Wesley Publishing Company.
- Buchanan, B. & Shortliffe, E. (1984). *Rule-Based Expert Systems*. Addison-Wesley Publishing Company.
- Buchanan, B.; Sutherland, G. & Feigenbaum, E. (1969). *Heuristic Dendral: a Program for Generating Explanatory Hypothesis in Organic Chemistry*. Edinburgh, UK, Edinburgh Univ. Press.
- Burton, A.; Shadbolt, N.; Rug, G. & Hedgecock, A. (1990). The efficiency of knowledge elicitation techniques: a comparison across domains and level of expertise. *Knowledge Acquisition*, 2, 167-178.
- Cairó, O. (1998). KAMET: A Comprehensive Methodology for Knowledge Acquisition from Multiple Knowledge Sources. *Expert System with Applications* (forthcoming).

- Cairó, O.; Cervantes, F.; Reyes, L; Violante, A. & García, E. (1998). HeadExpert: An Expert System for the Diagnosis of Headache Disorders, Cranial Neuralgias and Facial Pain. *Expert System with Applications (forthcoming)*.
- Cairó, O. (1998). The KAMET Methodology: A New Approach for Knowledge Acquisition from Multiple Knowledge Sources. The Fourth World Congress on Expert Systems. *Critical Technology, Cognizant Communication Corporation (forthcoming)*.
- Cairó, O. (1997). The KAMET Methodology: A Modeling Approach for Knowledge Acquisition. *Technology Transfer Guidebook Series*. London, U.K.
- Cairó, O. & Loyola, D. (1997). The KAMET Methodology: Knowledge Acquisition as Modeling. *Fifteenth International Joint Conference on Artificial Intelligence IJCAI-97* (short presentation). Nagoya, Japan.
- Cairó, O. & Brodershon, E. (1996). Reuniones: Una Nueva Forma de Celebrarse. *NOVATICA*. 123, sep/oct, pp49-55.
- Cairó, O. & Villarreal, J. (1996). DIFEVS: Expert System for Failure Diagnosis and Correction in Satellite Communications Ground Stations. In Lee, J.; Liebowitz, J. & Chae, Y. (Eds). *Critical Technology, Cognizant Communication Corporation*, pp405-412.
- Cairó, O.; Guardati, S. & Boom, T. (1994). A Formal Methodology for Acquiring and Representing Knowledge from Multiple Experts. In: *Proc. of the Sixth International Conference on Software Engineering and Knowledge Engineering*. Published by Knowledge System Institute, pp281-288, Jurmala, Latvia.
- Cairó, O., Guardati, S. & Boom, T. (1992). Methodology for the Acquisition of Knowledge. In: *Proc. of the 2nd Pacific Rim International Conference on Artificial Intelligence*, pp 861-867, Seoul, Korea.
- Cammarata, A.; McArthur, D. & Steeb, R. (1983). Strategies of Cooperation in Distributed Problem Solving. *Proceedings IJCAI-83*, Karlsruhe, Germany.
- Caraca-Valente, J. et.al. (1992). DIARIA: An Integrated Inference Engine. *Memorias de la XVIII Conferencia Latinoamericana de Informática*, España.
- Castro, A. (1978). *Relaciones Humanas*. Editorial Troquel.
- Chandrasekaran, B. (1987). Towards a functional architecture for intelligence based on generic information processing tasks. *Proceedings of the 10th IJCAI*, Los Altos, Kaufman.
- Chandrasekaran, B.; Johnson, T. & Smith, J. (1992). Task-structure analysis for knowledge modeling. *Communications of the ACM*, 35(9), 124-137.
- Chandrasekaran, B. (1983). On Evaluating AI Systems for Medical Diagnosis. *AI Magazine*, Vol. 4(2).
- Chandrasekaran, B. (1982). Towards a taxonomy for problem solving. *AI Magazine*, 4, pp9-17.
- Clancey, W. (1992). Model Construction Operators. *Artificial Intelligence*, 53.
- Clancey, W. (1985). Heuristic Classification. *Artificial Intelligence*. 27, pp215-251.
- Cohen, P. (1985). *Heuristic Reasoning About Uncertainty: An AI Approach*. Pitman. Boston, Mass. USA.
- Cohen, J. (1968). Weighted Kappa: Nominal Scale Agreement with Provision for Scale Disagreement or Partial Credit. *Psychological Bulletin*, 70(4).
- Compton, P. & Jansen, R. (1990). A Philosophical Basis for Knowledge Acquisition. *Knowledge Acquisition*, 2, 241-257.
- Cook, N. & McDonald, J. (1986). A Formal Methodology for Acquiring and Representing Expert Knowledge. *Proceedings of the IEEE*. 74(10).
- Dalkey, N. (1967). *DELPHI*. Chicago: Rand Corp.
- De Hoog, R.; Menezes, W.; Toussaint, C.; Benus, B. & Gottlieb, D. (1997). CommonKADS Development Method Guidelines Volume Two: Project Management in CommonKADS. ESPRIT Project P5248 KADS-II. Deliverable KADS-II/M10a/UvA/068/2.0

- DeHoog, R.; Benus, B.; Vogler, M. & Metselaar, C. (1996). The CommonKADS Organization Model: Content, Usage and Computer Support. *Expert Systems With Applications*, 11 (1), 29-40.
- Delbecq, A.; Van de Ven, A. & Gustafson, D. (1975). *Group Techniques for program planning: a guide to nominal group and DELPHI processes*. Glenview, IL: Scott, Foreman.
- DeMarco, T. & Lister, T. (1985). Programmer Performance and the Effects of the Workplace. *Proceedings of the Eight International Conference on Software Engineering*, IEEE.
- DeMarco, T. (1982). *Controlling Software Projects*. Yourdon Press, New York, N.Y.
- Dhaliwal, J. & Benbasat, I. (1990). A Framework for the Comparative Evaluation of Knowledge Acquisition Tools and Techniques. *Knowledge Acquisition*, 2, 145-166.
- Drucker, P. (1974). *Management: Tasks, Responsibilities, and Practices*. New York: Harper and Row.
- Duda, R. et al. (1979). A Computer Based Consultant for Mineral Exploration. *Technical Report, SRI International*, September.
- Durfee, E.; Lesser, V. & Corkill, D. (1989). Trends in Cooperative Distributed Problem Solving. *IEEE Transaction Knowledge Data Engineering*, 1.
- Fairley, R. (1994). *Software Engineering Concepts*. McGraw-Hill.
- Forsythe, D. & Buchanan, B. (1992). Nontechnical Problems in Knowledge Engineering: Implications for Project Management. *Expert System with Applications*, 5, 203-212.
- Gaines, B. (1989). Social and Cognitive Processes in Knowledge Acquisition. *Knowledge Acquisition*, 1, 39-58.
- Garben, A.; Fürnsinn, M. & Ruschkowski, B. (1995). ESPANDA: For Solving Problems by Applying the Principle of Similarity. *Expert System With Applications*, 8(2).
- Giarratano, J. & Riley G. (1994). *Expert Systems: Principles and Programming*. PWS Publishing Company. Boston.
- González, S.; Méndez, E.; Kuhlmann, F. & Castelazo, I. (1985). Modularization Guidelines in the Development of large-scale System Models for Simulation. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*. 15 (5), 666-669.
- Gotlieb, C. (1985). *The Economics of Computers*. Englewood Cliffs, NJ, Prentice Hall.
- Gotlieb, C. & Parson, D. (1991). *Measuring the Productivity Impact of Information Technology: The Case of Canadian Banking*. In Beurler, J. & Drumm, J. (Eds). Information technology Assessment. Elsevier Publishers B.V.
- Guardati, S.; Cairó, O.; Luna, I. & Ugarte, M. (1993). *Técnicas para el Manejo de la Imprecisión e Incertidumbre*. Technical Report DAC-2. Instituto Tecnológico Autónomo de México, México.
- Guardati, S. (1994). Razonamiento Basado en Casos. *Revista Soluciones Avanzadas*. Año 2. Número 13.
- Guardati, S.; Cairó, O.; Boom, T. & Boom, R. (1995). TICITL: An Expert System for the Diagnosis of Gastroenterological Diseases. In: *Proceedings of 6th. International Conference on Database and Expert Systems Applications DEXA 95*, pp431-438. London, United Kingdom, 1995.
- Harel, D. (1987). State charts: a visual formalism for complex systems. *Science of Computer Programming*, 8, pp231-27.
- Helmer, O. (1966). *Social Technology*. Basic Books.
- Hirokawa, R. (1982). Consensus Group Decision-Making, Quality of Decision, and Group Satisfaction. *Central States Speech, Journal* 33.
- Hoffman, R. (1987). The Problem of Extracting the Knowledge of Experts from the Perspective of Experimental Psychology. *AI Magazine*, 8 (2), 53-67.
- Hudson et al. (1984). Prospective Analysis of Emerge, an Expert System for Chest Pain Analysis. *IEEE Computers in Cardiology*. IEEE Service Centre, N.Y.

- Ignizio, J. (1991). *Introduction to expert systems: The development and implementation of rule-based expert systems*. McGraw-Hill. Singapore.
- HIS. (1988). Headache Classification Committee of the International Headache Society. Classification and diagnostic criteria for headache disorders, cranial neuralgias, and facial pain. *Cephalgia*, 7(suppl. 8).
- Ishida, T.; Yokoo, M. & Gasser, L. (1990). An Organizational Approach to Adaptive Production Systems. *Proceedings AAAI-90*, Boston, MA.
- Kuhlmann, F.; Castelazo, I.; Rodriguez, G. & González, S. (1981). Real Time Simulation of Dynamic Systems Using Multirate Integration Methods. *Proc. 7th. National Engineering Academy Conference*.
- Langlotz, C.; Shortliffe, E. & Fagan, L. (1986). Using Decision Theory to Justify Heuristics. *Proc. AAAI 86*, Menlo Park, Calif.
- La Salle, A. & Medsker, L. (1991). Computerized conferencing for knowledge acquisition from multiple experts. *Expert Systems with Applications*, 3, 517-522.
- Larson, C. *Forms of Analysis and Small Group Problem Solving*. Speech Monographs 36.
- Leclerc, A. (1989). *PIMS status conceptual schema presentation*. Doc. CSI-T21-SP, PIMS Consortium, Grenoble.
- Lesser, V. & Eрман, L. (1980). Distributed Interpretation: A Model and Experiment. *IEEE Trans. Comput.* 29.
- Lesser, V. & Corkill, D. (1983). The Distributed Vehicle Monitoring Tested. *AI Magazine*, 4.
- Marschak, J. & Radner, R. (1972). *Economic Theory of Teams*. New Haven, Connecticut, Yale University Press.
- Mason, R. & Sassone, P. (1978). A Lower Bound Cost Benefit Model for Information Services. *Information Processing and Management*, Pergamon Press Ltd., 14(2), 71-83.
- McDermott, J. (1988). Preliminary Steps toward Taxonomy of Problem-Solving Methods. In Marcus, S., editor. *Automating Knowledge Acquisition for Expert Systems*, 225-255. Boston, Kluwer.
- McDermott, J. (1981). R1: The Formative Years. *AI Magazine*, 2(2).
- Maier, N. (1963). *Problem-Solving Discussion and Conferences*. McGraw-Hill.
- Medsker, Y.; Tan, M. & Turban, E. (1995). Knowledge Acquisition from Multiple Experts: Problems and Issues. *Expert Systems With Applications*, 9 (1), 35-40.
- Michalski, R. (1984). *A Theory and Methodology of Inductive Learning*. Machine Learning: An Artificial Intelligence Approach.
- Mittal, S. & Dym, C. (1987). Knowledge Acquisition from Multiple Experts. *AI Magazine*, 6, 32-36.
- Moody, J., Will, R. & Blanton, J. (1996). Enhancing Knowledge Elicitation using the Cognitive Interview. *Expert Systems With Applications*, 10 (1), 127-133.
- Mosvick, R. & Nelson, R. (1987). *We've Got to Start Meeting Like this!*. Scott, Foresman Professional Publishing Group.
- Mowshowitz, A. (1992). On The Market Value of Information Commodities. The Nature of Information and Information Commodities. *Journal of the American Society for Information Science*, 43(3), pp225-232.
- Mowshowitz, A. (1987). *The Information Market Place*. Technical Report, The Office for Technology Assessment: U.S. Congress.
- Newell, A. (1982). The Knowledge Level. *Artificial Intelligence*, 18, pp87-127.
- Nordbø, Y.; Vestli, M. & Sølberg, Y. (1991). METAKREK: Knowledge Acquisition as Modeling. *Expert Systems with Applications*, 3, 269-275.
- Nunamaker, J.; Vogel, D.; Heminger, A.; Martz, B.; Grohowski, R. & McGoff, C. (1993). *Experiences at IBM with Group Support Systems: A Field Study*. Readings in Groupware and Computer-Supported Cooperative Work, pp740-753. Edited by Ronald Baecker, Morgan Kaufmann Publishers.

- O'Keefe, R.; Balci, O. & Smith, E. (1987). Validating Expert System Performance. *IEEE Expert*, 2 (4), pp81-90, Winter 87.
- Pagnoni, A. (1990). *Project Engineering: Computer-Oriented Planning and Operational Decision-Making*. Springer Verlag.
- Palomäki, J. (1993). *A Fundamental Fact which Conceptual Modeler has to Face*. Information Modeling and Knowledge Bases IV. IOS Press.
- Patil, R.; Szolovits, P. & Schwartz, W. (1981). Causal Understanding of Patient Illness in Medical Diagnosis. *Proceedings of the Seventh International Joint Conference on Artificial Intelligence*, Vancouver, BC.
- Pilangley, A.; Bradshaw, G. & Simon, H. (1983). Rediscovering Chemistry with the Bacon System. *Machine Learning*, Michalski et. al. Eds.
- Pople, H. (1980). Heuristic Methods for Imposing Structure on III Structured Problems: The Structuring of Medical Diagnosis. *Artificial Intelligence in Medicine*, AAAS/Westview, Boulder, CO.
- Quinlan, J. (1986). Induction of Decision Trees, 1, pp81-106.
- Quinlan, J. (1984). *Learning Efficient RBC Classification Procedures and their Applications to Chess End Games*. Machine Learning: An Artificial Intelligence Approach.
- Repo, A. (1986). The dual approach to the value of information: an appraisal of use and exchange values. *Information Processing and Management*, 22(5).
- Rodríguez, G.; Kuhlmann, F.; Castelazo, A; Fernández del Busto, R.; Torres, M. & González, S. (1982). On the Real-time Simulation of Large-scale Dynamic Systems Using Multirate Integration Methods. *Proc. 13th. Annu. Pittsburgh Conf. Modeling and Simulation*, 13(4).
- Rumbaugh, J.; Blaha, M.; Premerlani, W.; Eddy, F. & Lorensen, W. (1991). *Object Oriented Modeling and Design*. Englewood Cliffs, New Jersey, Prentice Hall.
- Russell, B. (1927). *The Analysis of Matter*. London: George Allen & Unwin Ltd.
- Schreiber, G.; Wielinga, B.; DeHoog, R.; Akkermans, H. & Van de Velde, W. (1994). CommonKADS: A Comprehensive Methodology for KBS Development. *IEEE Expert*, 9 (6), pp28-37.
- Schreiber, G., Wielinga, B. & Breuker, J. (1993). *KADS: A principle approach to knowledge-based system development*. Academic Press, London.
- Schreiber, G. & Wielinga, B. (1992). *Comparing KADS-I to Conventional Software Engineering*. ESPRIT Project P5248 KADS-II. Document: KADS-II/WP6/TR/UvA/33/1.0
- Scott, A., Clayton, J. & Gibson, E. (1991). *A Practical Guide to Knowledge Acquisition*. Addison Wesley.
- Shafer, D. & Logan, R. (1987). Implementing Dumpster's Rule for Hierarchical Evidence. *AI*, 33.
- Shannon, C. & Weaver, W. (1949). *The Mathematical Theory of Communication*. University of Illinois Press.
- Shortliffe, E. (1976). *Computer Based Medical Consultations MYCIN*. New York American Elsevier.
- Sibelius, P. (1993). Information Condensation in Conceptual Modeling. *Information Modeling and Knowledge Bases IV*. IOS Press.
- Simmons, R. (1983). The Use of Qualitative and Quantitative Simulations. *Proceedings of the third AAAI*. Washington, DC.
- Sommerville, I. (1996). *Software Engineering*. Addison-Wesley.
- Tansley, D. & Hayball, C. (1993). *Knowledge-Based Systems Analysis and Design*. Prentice Hall.
- Taylor, W.; Weimann, D. & Martin, P. (1995). Knowledge Acquisition and Synthesis in a Multiple Source Multiple Domain Process Contexts. *Expert System with Applications*, 8(2).
- Vámos, T. (1996). Expert Systems and the Ontology of Knowledge Representation. In Lee, J.; Liebowitz, J. & Chae, Y.(Eds). *Critical Technology*, Cognizant Communication Corporation, pp3-12.

- Van Wegen, B. (1996). *Impacts of KBS on Cost and Structure of Production Processes*. Thesis Universiteit van Amsterdam, Faculteit der Psychologie. ISBN 90-5470-052-1.
- Weiss, S.; Kulikowski, C.; Amarel, S. & Safir, A. (1978). A Model Based Method for Computer-Aided Medical Decision-making. *Artificial Intelligence*.
- Wells, S. (1993). *CommonKADS Development Method Guidelines Volume One: The CommonKADS Life-Cycle Model (LCM)*. ESPRIT Project P5248 KADS-II.
- Wielinga, B.; Schreiber, A. & Breuker, J. (1992). KADS: A Modelling Approach to Knowledge Engineering. *Knowledge Acquisition*, 4, 5-54.
- Wiig, K. (1994). *Knowledge Management*. Schema Press, Ltd.
- Wooten, T. & Rowley, T. (1995). Using Anthropological Strategies to Enhance Knowledge Acquisition. *Expert Systems With Applications*, 9 (4), 469-482.
- Yourdon, E. (1989). *Modern Structured Analysis*. Englewood Cliffs, New Jersey, Prentice Hall.
- Zhang, C. (1992). Cooperation under uncertainty in distributed expert systems. *Artificial Intelligence*, 56, 21-69.

APENDICE 1

MODELACION DEL CONOCIMIENTO DE DOLORES DE CABEZA, NEURALGIAS CRANEALES Y DOLORES FACIALES

En este apéndice se presentan los modelos completos correspondientes a los diferentes grupos de dolores de cabeza, neuralgias craneales y dolores faciales (figura A1.1). Cabe recordar que en el capítulo quinto se hizo la descripción correspondiente de esta aplicación y se presentaron los modelos del primer grupo: migraña.

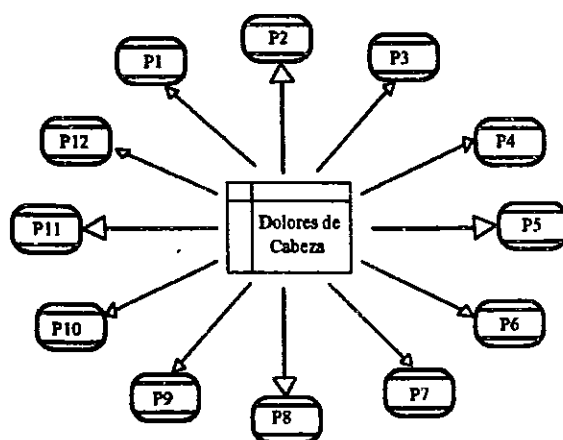


FIGURA A1.1. Diagrama general de dolores de cabeza, neuralgias craneales y dolores faciales.

Donde:

P1. Migraña.

P2. Dolor de cabeza tipo tensional.

P3. Dolor de cabeza tipo cluster o en racimos y hemicránea paroxismal crónica.

P4. Dolor de cabeza varios no asociados con lesión estructural.

P5. Dolor de cabeza asociado con trauma.

P6. Dolor de cabeza asociado con desórdenes vasculares.

P7. Dolor de cabeza asociado con desórdenes intracraneales no-vasculares.

P8. Dolor de cabeza asociado con sustancias.

P9. Dolor de cabeza asociado con infección no-cefálica.

P10. Dolor de cabeza asociado con desorden metabólico.

P11. Dolor de cabeza o facial asociado con desorden del cráneo, cuello, ojos, oídos, nariz, cavidades, dientes, boca o alguna otra estructura facial o craneal.

P12. Neuralgias craneales, dolor del tronco craneal y dolor de diferenciación.

P13. Dolor de cabeza no clasificable.

Los grupos P6, P7, P8, P9, P10 y P11 se consideran secundarios. El grupo P13 corresponde a una clasificación abierta, es decir para dolores de cabeza que aún no han sido clasificados. Estos grupos no se incluyen en los modelos.

En la práctica rutinaria en la mayoría de los hospitales, clínicas y centros en general de salud, el diagnóstico para detectar dolores de cabeza, neuralgias craneales y dolores faciales se realiza al nivel de uno o dos dígitos. Sin embargo en centros especializados, el diagnóstico se realiza al nivel de cuatro dígitos. Esto implica una mayor profundidad en la investigación para determinar el diagnóstico. El código para el cuarto dígito de los grupos 2 y de los grupos 5-11 se encuentra al final de este apéndice.

Cabe destacar que los modelos se construyeron de manera jerárquica y se aplicó un criterio de diagnóstico operacional para resolver todos los problemas. El sistema de codificación jerárquica, hace posible utilizar la clasificación a diferentes niveles de sofisticación. El diagnóstico operacional, por otra parte, es la única forma de asegurar una variabilidad razonable en el diagnóstico. A continuación en las tablas A1.1, A1.2, A1.3, y A1.4 se presentan los síntomas, antecedentes, tiempos y valores respectivamente utilizados para los diferentes modelos.

TABLA A1.1. Síntomas de los dolores de cabeza, neuralgias craneales y dolores faciales.

1. Dolor.	15.Vértigo.	29.Pronunciación acentuada de las palabras.	43.Edema ocular.
2. Náusea.	16.Tinnitus.	30.Postura distónica.	44.Remisiones.
3. Vómito.	17.Audición.	31.Movimientos coratetoides.	45.Ausencia de remisiones.
4. Fotofobia.	18.Ataxia.	32.Anormalidades en el motor ocular.	46.Remisión interina.
5. Fonofobia.	19.Paresis.	33.Disturbios autonómicos.	47Curso no remitente.
6. Visual.	20.Nivel de conciencia.	34.No náusea.	48.Pérdida de conciencia.
7. Parestesia.	21.No hay dolor de cabeza.	35.No vómito.	49.Amnesia pos traumática.
8. Disturbio visual homónimo.	22.Neurológicos.	36.Inyección conjuntiva.	50.Palsy del nervio oculomotor.
9. Visión.	23.Escotoma monocular.	37.Lagrimación.	51.Erupción herpética.
10.Debilidad.	24.Ceguera.	38.Congestión nasal.	52.Parálisis de más de uno de los nervios craneales III, IV y VI.
11.Afasia.	25.Desequilibrio.	39.Rinorrea.	53.Precipitación.
12.Dificultad para hablar no clasificable.	26.Ansiedad.	40.Sudor.	54.Ataques paroxismales.
13.Visuales en los campos nasal y temporal de ambos ojos.	27.Nistagmo.	41.Miosis.	55.Ddysaesthesia.
14.Disartia.	28.Ataques de hemiplejia.	42.Ptosis palpebral.	56.Sensación de pinchazo.

TABLA A1.2. Antecedentes de dolores de cabeza, neuralgias craneales y dolores faciales.

1. Enfermedad presente, pero los ataques de migraña no ocurren por primera vez en relación temporal cercana al desorden.	27.No hay cambio estructural en la distribución del nervio craneal afectado.	53.No hay déficit neurológico.
--	--	--------------------------------

Apéndice I. Modelación del Conocimiento de Dolores de Cabeza, Neuralgias Craneales y Dolores Faciales.

2. Cerebro focal cortical.	28.Resulta de una aplicación externa de presión en la frente.	54.Ataques estereotipados en el paciente individual.
3. Disfunción del tronco cerebral.	29.No está asociado con enfermedad craneal o intracraneal orgánica.	55.Exclusión de otras causas de dolor facial.
4. Grado de <i>hemiparesis</i> prolongado.	30.Se desarrolla durante exposición al frío.	56.Signos de <i>impairment</i> sensorial en la distribución de la división trigeminal apropiada.
5. Por lo menos un pariente de 1er.grado tiene ataques idénticos.	31.Se desarrolla durante la ingestión de comida o bebida fría.	57.Lesión causativa.
6. TIA <i>tromboembólico</i> descartado.	32.No está asociado con enfermedad orgánica.	58.Ocurrencia de neuralgia trigeminal después de infarto del tronco cerebral.
7. Lesiones intracraneales descartadas.	33.Precipitado por tos.	59.Otras causas de dolor descartadas.
8. Lesión <i>paraselar</i> descartada.	34.Lesión estructural excluida por neuroimagen.	60.Signos de <i>impairment</i> sensorial en la distribución del nervio <i>glossopharyngeal</i> .
9. Examen oftalmopléjico normal.	35.Causado por ejercicio físico.	61.Signos de <i>impairment</i> sensorial en la distribución del nervio vago.
10.Embolismo descartado.	36.No está asociado con desórdenes sistémicos o intracraneales.	62.Zona de disparo en la pared posterior del canal auditivo.
11.Examen neurológico normal.	37.Precipitado por actividad sexual.	63.Disparados por tragar.
12.Electroencefalograma normal.	38.No está asociada con desórdenes intracraneales.	64.Disparados por esfuerzo grande de la voz.
13.Antes de los 18 meses de edad.	39.Se intensifica al incrementar la actividad sexual.	65.Disparados por voltear la cabeza.
14.Deficiencias mentales.	40.Examen clínico neurológico demuestra anomalía relevante.	66.La susceptibilidad continúa por días o semanas.
15.Deficiencias neurológicas.	41.Rayos-X de la cabeza demuestra anomalía relevante.	67.Punto de disparo presente en el aspecto lateral de la garganta sobre la membrana hipotiroides.
16.Deficiencias neurológicas no son totalmente reversibles en 7 días.	42.Neuroimagen demuestra anomalía relevante.	68.Nervio afectado es sensible a la palpación.
17.Infarto <i>esquémico</i> en área relevante.	43.Potenciales evocados demuestran anomalía relevante.	69.Se mejora temporalmente por bloque local anestésico del nervio apropiado.
18.No hay otras causas de infarto.	44.Examen del fluido espinal demuestra anomalía relevante.	70.Lesión del nervio trigeminal.
19.Enfermedad presente, pero los ataques de dolor de cabeza tipo tensión no ocurren por primera vez en relación temporal cercana al desorden.	45.Prueba de función vestibular demuestra anomalía relevante.	71.Proyecciones centrales.
20.Sensibilidad en músculo pericraneal incrementado.	46.Prueba neuropsicológica demuestra anomalía relevante.	72.Lesión vascular.
21.Nivel de actividad EMG de músculo pericraneal incrementado.	47.Lesión relevante.	73.Esclerosis múltiple.
22.No incrementa la sensibilidad en	48.Inicio del dolor relacionado con	74.Tomografía computarizada

músculo pericraneal.	inicio de lesión del nervio craneal.	demuestra lesión en sitio apropiado.
23. Nivel de actividad EMG en músculo pericraneal normal.	49. Causado por una lesión que afecta directamente uno o más de los nervios aferentes.	75. Imagen de resonancia magnética demuestra lesión en sitio apropiado.
24. Enfermedad presente, pero los ataques de dolor de cabeza de <i>cluster</i> no ocurren por primera vez en relación temporal cercana al desorden.	50. No hay lesión extrínseca.	76. No está asociado con pérdida sensorial.
25. Eficiencia absoluta de <i>indometacina</i> (150mg/día).	51. El dolor se acaba a las 72 horas de empezar la terapia <i>corticosteroide</i> .	77. No está asociado con signos físicos.
26. No hay cambio estructural en el lugar del dolor.	52. Exclusión de otras lesiones causativas.	78. No hay anomalía relevante.

TABLA A1.3. Tiempos.

1. De 4 a 72 hrs.	12. Días al mes.	23. Dura una fracción de seg.	34. Continúa por más de 8 sem. después de recobrar la conciencia.
2. Se desarrolla gradualmente en 4 min.	13. Durante 6 meses.	24. Ocurre en intervalos irregulares (de hrs. a días).	35. Continúa por más de 8 sem. después de la herida.
3. Duración < 60 min.	14. Temporal.	25. Constante.	36. Se desarrolla en pocas hrs.
4. Intervalo libre de menos de min.	15. De 15 a 180 min.	26. Dura menos de 5 min.	37. A la semana del inicio.
5. Por lo menos un síntoma tiene una duración > 60 min. <= 7 días.	16. De 1 cada tercer día a 8 diarios.	27. Dura menos de un min.	38. Persiste más de 6 meses.
6. Episodios.	17. De 7 días a un año.	28. De 5 min. a 24 hrs.	39. Hasta 8 sem.
7. Repetidos.	18. Por lo menos 14 días.	29. Dura más de 10 min.	40. Hasta 2 sem.
8. Dura más de 72 hrs.	19. Por un año o más.	30. Ocurre en menos de 14 días después de recobrar la conciencia.	41. De pocos seg. a menos de 2 min.
9. Intervalo libre de menos de 4 hrs.	20. Menos de 14 días.	31. Desaparece en 8 sem. después de recobrar la conciencia.	42. De min. a hrs.
10. Menos de 15 días/mes.	21. De 2 a 45 min.	32. Ocurre en menos de 14 días después de la herida.	43. Presente todos los días.
11. De 30 min. a 7 días.	22. Diarios por más de la mitad de tiempo.	33. Desaparece en 8 sem. después de la herida.	44. Persiste casi todo el día.

TABLA A1.4. Valores.

1. De cabeza.	20. Supraorbital.	39. Después del coito.	58. Intenso.
2. Por lo menos 5 ataques.	21. En la frente.	40. En la distribución de uno o más nervios craneales.	59. Filoso.

Apéndice 1. Modelación del Conocimiento de Dolores de Cabeza, Neuralgias Craneales y Dolores Faciales.

3. Unilateral.	22. En la cara.	41. En las raíces cervicales 2 y 3.	60. Superficial.
4. Pulsátil.	23. Por lo menos 2 periodos.	42. Atrás del ojo afectado.	61. Quemante.
5. Moderado.	24. Por lo menos 1.	43. Central.	62. Precipitación de áreas de disparo.
6. Intenso.	25. Por lo menos 50.	44. No pareada.	63. Precipitación por actividades diarias.
7. Incrementa con misma rutina de actividad física.	26. En el mismo lugar.	45. Alrededor del ojo en el lado afectado.	64. Asintomático entre la paroxis.
8. Por lo menos 2 ataques.	27. En la distribución de la primera división del nervio trigeminal.	46. Inicio agudo.	65. Distribución en la parte posterior de la lengua.
9. Borrosa.	28. Puñalante.	47. Parcial.	66. Fosa tonsilar.
10. Decrementada.	29. En área sujeta a presión.	48. Completa.	67. Faringe.
11. Doble.	30. Varía en intensidad en relación con la severidad y la duración del frío.	49. En la distribución del nervio afectado.	68. En el ángulo de la mandíbula inferior.
12. Bilateral.	31. Se siente en la mitad de la frente.	50. En la distribución del nervio craneal afectado.	69. En la oreja.
13. De uno o más nervios craneales (III, IV y VI).	32. Inicio repentino.	51. En las divisiones.	70. Curso intermitente.
14. Totalmente reversible.	33. Palpitante.	52. En área de distribución del nervio lingual.	71. En la garganta.
15. En ambos lados del cuerpo.	34. Lento pero no intenso.	53. En área de la segunda raíz cervical.	72. Región submandibular.
16. Por lo menos 10 ataques.	35. En el cuello.	54. Facial.	73. En la distribución del nervio occipital mayor.
17. Calidad presionante.	36. Explosivo.	55. Frontal.	74. En la distribución del nervio occipital menor.
18. No incrementa con la misma rutina de actividad física.	37. En el orgasmo.	56. Distribución a través de una o más divisiones del nervio trigeminal.	75. En el área afectada.
19. Orbital.	38. Postural.	57. Repentino.	76. De una mitad de la cara.
17. Profundo.		78. Pobremente localizado.	

Se presentan a continuación los modelos correspondientes a los diferentes grupos. Cabe recordar que los modelos correspondientes al primer grupo fueron presentados en la sección 5.4.1.2.

Modelos del Grupo 2: Dolor de Cabeza Tipo Tensional

El segundo grupo corresponde al dolor de cabeza tipo tensional. Este tipo de dolor se divide en episódico y crónico. Esto se debe a que los pacientes con dolor de cabeza diario o casi diario constituyen un amplio grupo en prácticas especializadas, en clínicas y hospitales. Su tratamiento y

quizás también su mecanismo patogénico varía de forma considerable del tipo episódico, pericraneales. La descomposición de este grupo se puede observar en la figura A1.2.

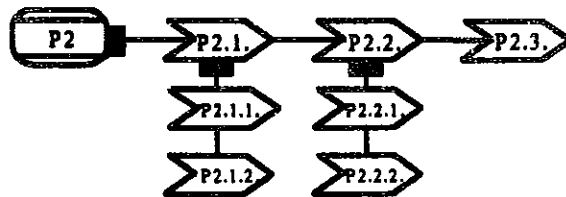


FIGURA A1.2. Diagrama general del grupo: dolor de cabeza tipo tensional.

Donde:

P2.1. Dolor de cabeza tipo tensión episódico.

P2.1.1. Dolor de cabeza tipo tensión episódico asociado con desorden de músculos pericraneales.

P2.1.2. Dolor de cabeza tipo tensión episódico no asociado con desorden de músculos pericraneales.

P2.2. Dolor de cabeza tipo tensión crónico.

P2.2.1. Dolor de cabeza tipo tensión crónico asociado con desorden de músculos pericraneales.

P2.2.2. Dolor de cabeza tipo tensión crónico no asociado con desorden de músculos pericraneales.

P2.3. Otros.

A continuación se presentan los modelos correspondientes.

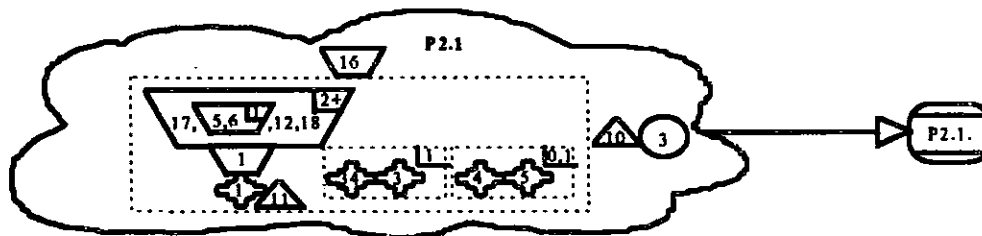


FIGURA A1.3. Dolor de cabeza tipo tensional episódico.



FIGURA A1.4. Dolor de cabeza tipo tensional episódico: (a) asociado con desorden de músculos pericraneales y (b) no asociado con desorden de músculos pericraneales.

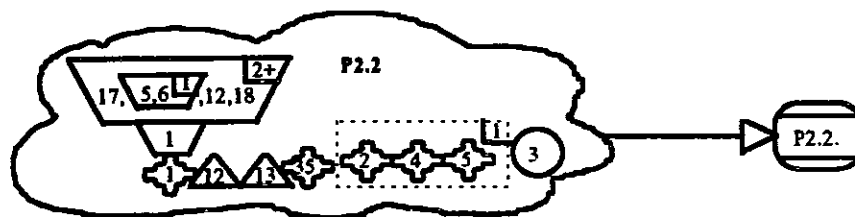


FIGURA A1.5. Dolor de cabeza tipo tensional crónico.

Apéndice 1. Modelación del Conocimiento de Dolores de Cabeza, Neuralgias Craneales y Dolores Faciales.



FIGURA A1.6. Dolor de cabeza tipo tensional crónico: (a) asociado con desorden de músculos pericraneales y (b) no asociado con desorden de músculos pericraneales.

Modelos del Grupo 3: Dolor de Cabeza Tipo Cluster o en Racimos y Hemicránea Paroxismal Crónica

Los dolores de cabeza de cluster y la hemicránea paroxismal crónica, comparten las siguientes características: locación unilateral del dolor, intensidad severa del dolor, fenómeno autonómico acompañante y patrón temporal de los ataques. También existen similitudes con respecto al curso de la enfermedad y otros cambios que indican el desarrollo autonómico. Las características que se distinguen entre los dos son las siguientes: preponderancia sexual, frecuencia y duración de los ataques, preponderancia nocturna, efectos de drogas -tanto sintomáticas como profilácticas-. La descomposición de este grupo se puede observar en la figura A1.7.

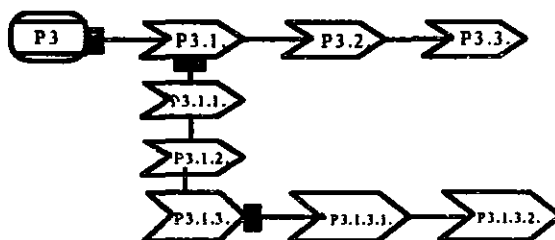


FIGURA A1.7. Diagrama general de dolor de cabeza de cluster o en racimos y hemicránea paroxismal crónica.

Donde:

P3.1. Dolor de cabeza de cluster o en racimos.

P3.1.1. Dolor de cabeza de cluster o en racimos con periodicidad indeterminada.

P3.1.2. Dolor de cabeza de cluster o en racimos episódico.

P3.1.3. Dolor de cabeza de cluster o en racimos crónico.

P3.1.3.1. Dolor de cabeza de cluster o en racimos crónico no remitente del inicio.

P3.1.3.2. Dolor de cabeza de cluster o en racimos crónico evolucionado de episódico.

P3.2. Hemicránea paroxismal crónica.

P3.3. Otros.

A continuación se presentan los modelos correspondientes a cada uno de los grupos.

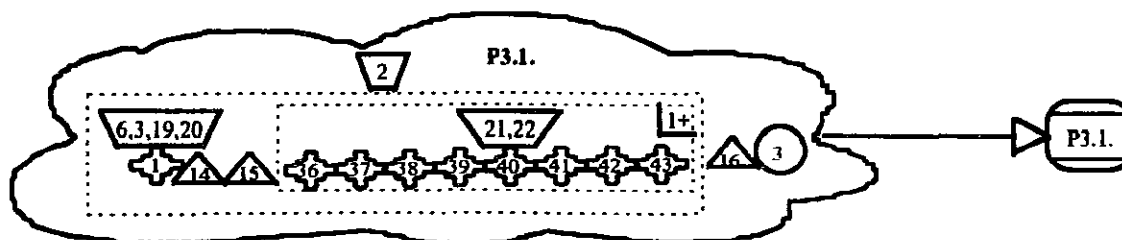


FIGURA A1.8. Dolor de cabeza de cluster o en racimos.

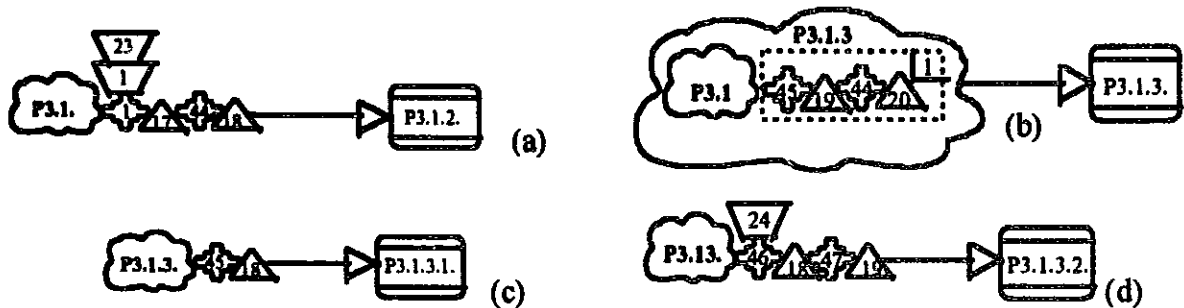


FIGURA A1.9. Dolor de cabeza de cluster o en racimos: (a) episódico; (b) crónico; (c) crónico no remitente desde el inicio y (d) crónico evolucionado de episódico.

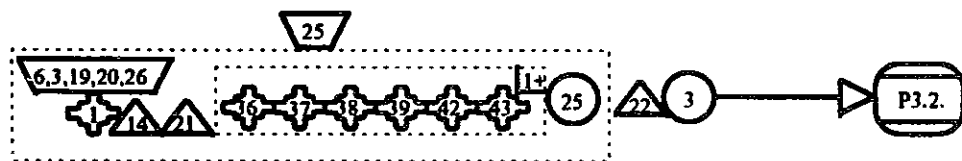


FIGURA A1.10. Hemicránea paroxismal crónica.

Modelos del Grupo 4: Dolores de Cabeza Varios no Asociados con Lesión

El cuarto grupo corresponde a los dolores de cabeza varios no asociados con lesión estructural. En la figura A1.11. se puede ver la descomposición de este grupo.

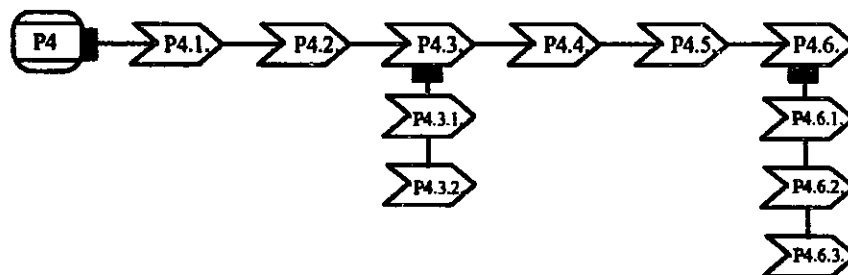


FIGURA A1.11. Diagrama general de dolores de cabeza varios no asociados con lesión estructural.

Donde:

- P4.1. Dolor de cabeza idiopático.
- P4.2. Dolor de cabeza de compresión externa.
- P4.3. Dolor de cabeza de estímulo frío.
 - P4.3.1. Aplicación externa de estímulo frío.
 - P4.3.2. Ingestión de estímulo frío.
- P4.4. Dolor de cabeza de tos benigna.
- P4.5. Dolor de cabeza de exertional benigna.
- P4.6. Dolor de cabeza asociado con actividad sexual.
 - P4.6.1. Tipo lento pero no intenso.
 - P4.6.2. Tipo explosivo.
 - P4.6.3. Tipo postural.

Apéndice 1. Modelación del Conocimiento de Dolores de Cabeza, Neuralgias Craneales y Dolores Faciales.

A continuación se presentan los modelos correspondientes.

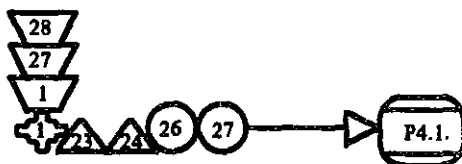


FIGURA A1.12. Dolor de cabeza idiopático.

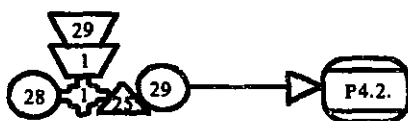


FIGURA A1.13. Dolor de cabeza de compresión externa.



FIGURA A1.14. Aplicación externa de estímulo frío (a) e ingestión de estímulo frío (b).

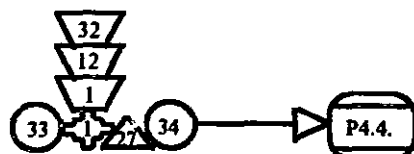


FIGURA A1.15. Dolor de cabeza de tos benigna.

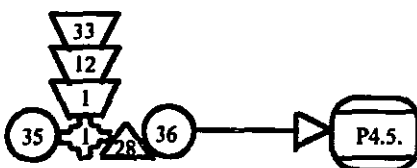


FIGURA A1.16. Dolor de cabeza de ejercional benigna.

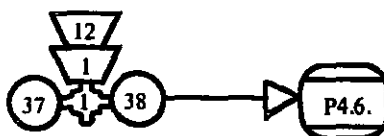


FIGURA A1.17. Dolor de cabeza asociado con actividad sexual.

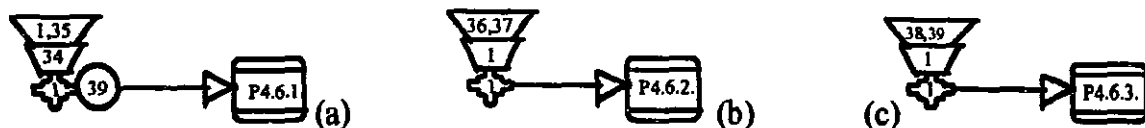


FIGURA A1.18. Dolor de cabeza asociado con actividad sexual: (a) tipo lento pero no intenso; (b) tipo explosivo; y (c) tipo postural.

Modelos del Grupo 5: Dolores de Cabeza Asociados con Trauma

El quinto grupo corresponde a los dolores de cabeza asociados con trauma. En esta clasificación de dolores de cabeza, se dificulta definir inter-relaciones complejas entre los factores orgánicos y psicosociales. En la figura A1.19. se puede observar la descomposición del grupo.

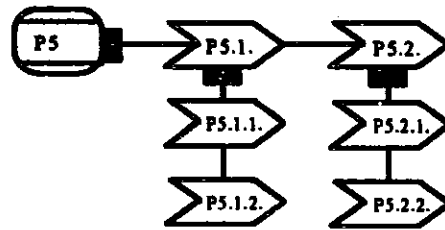


FIGURA A1.19. Diagrama general de dolores de cabeza asociados con trauma.

Donde:

P5.1. Dolor de cabeza pos-traumático agudo.

P5.1.1. Con trauma de cabeza significativo y/o signos confirmatorios.

P5.1.2. Con trauma mínimo y sin signos confirmatorios.

P5.2. Dolor de cabeza pos-traumático crónico.

P5.2.1. Con trauma de cabeza significativo y/o signos confirmatorios.

P5.2.2. Con trauma mínimo y sin signos confirmatorios.

A continuación se presentan los modelos correspondientes.

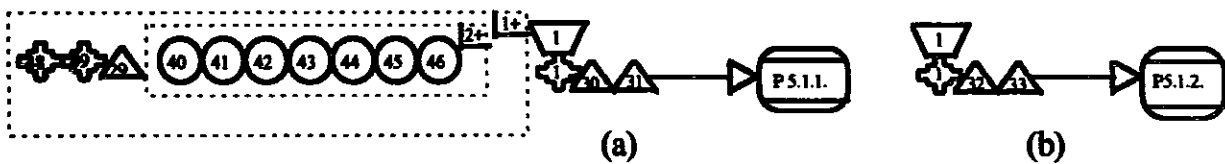


FIGURA A1.20. Dolor de cabeza pos-traumático agudo: (a) con trauma de cabeza significativo y/o signos confirmatorios y (b) con trauma mínimos y sin signos confirmatorios.

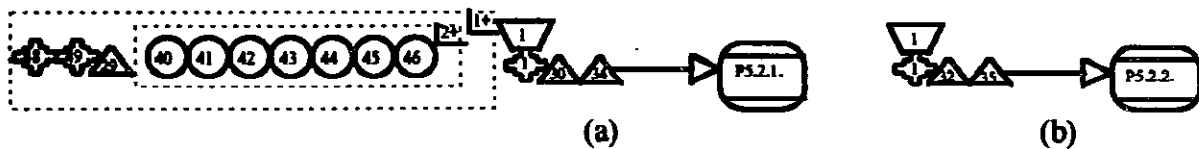


FIGURA A1.21. Dolor de cabeza pos-traumático crónico: (a) con trauma de cabeza significativo y/o signos confirmatorios y (b) con trauma mínimos y sin signos confirmatorios.

Modelos del Grupo 12: Neuralgias Craneales, Dolor del Tronco Nerval, y Dolor de Diferenciación

El grupo doce corresponde a las neuralgias craneales. En la figura A1.22. se puede observar la descomposición correspondiente.

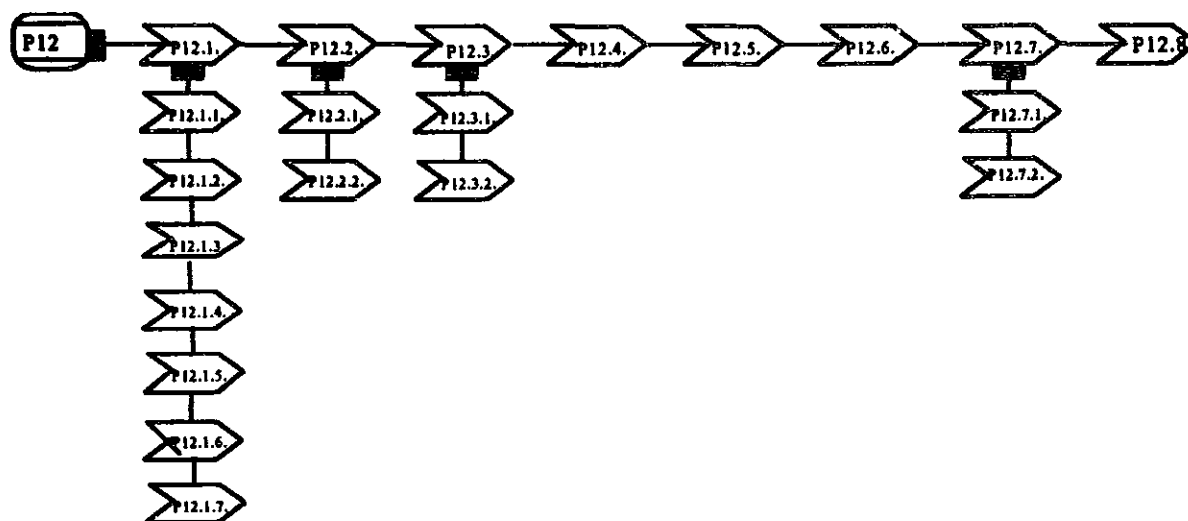


FIGURA A1.22. Diagrama general de neuralgias craneales, dolor del tronco neural y dolor de diferenciación.

Donde:

P12.1. Dolor persistente del origen del nervio craneal.

P12.1.1. Compresión o distorsión de nervio craneal y de raíces cervicales 2 y 3.

P12.1.2. *Desmielinación* de nervios craneales.

P12.1.2.1. Neuritis óptica.

P12.1.3. Infarto de nervios craneales.

P12.1.3.1. Neuritis diabética.

P12.1.4. Inflamación de nervios craneales.

P12.1.4.1. *Zoster herpes*.

P12.1.4.2. Neuralgia pos herpética crónica.

P12.1.5. Síndrome Tolosa-Hunt.

P12.1.6. Síndrome cuello-lengua.

P12.1.7. Otras causas de dolor persistente del origen del nervio craneal.

P12.2. Neuralgia trigeminal.

P12.2.1. Neuralgia trigeminal idiopática.

P12.2.2. Neuralgia trigeminal sintomática.

P12.2.2.1. Compresión de la raíz trigeminal o ganglionar.

P12.2.2.2. Lesiones centrales.

P12.3. Neuralgia glossofaríngeo.

P12.3.1. Neuralgia glossofaríngeo idiopática.

P12.3.2. Neuralgia glossofaríngeo sintomática.

P12.4. Neuralgia nerviosa intermedia.

P12.5. Neuralgia laríngeal superior.

P12.6. Neuralgia occipital.

P12.7. Causas centrales de dolor de cabeza y facial aparte de dolores de tic.

P12.7.1. Anestesia dolorosa.

P12.7.2. Dolor talámico.

P12.8. Otros.

A continuación se presentan los modelos correspondientes.

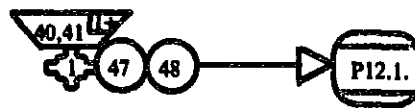


FIGURA A1.23. Dolor persistente del origen del nervio craneal.

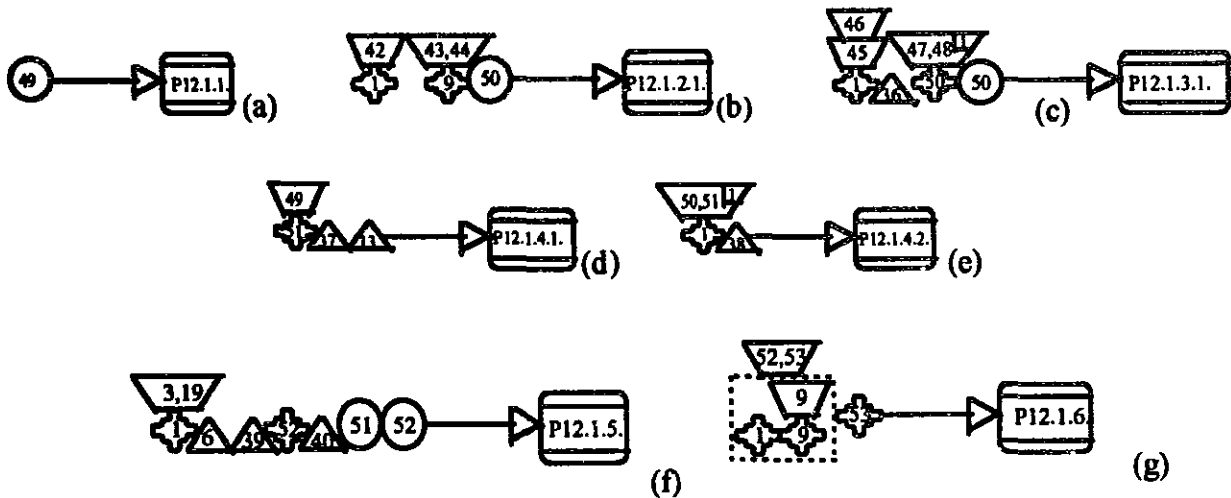


FIGURA A1.24. Dolor persistente del origen del nervio craneal: (a) comprensión o distorsión del nervio craneal y de raíces cervicales 2 y 3; (b) neuritis óptica; (c) neuritis diabética; (d) zoster herpes; (e) neuralgia pos-herpética crónica; (f) síndrome Tolosa-Hunt; y (g) Síndrome cuello-lengua.

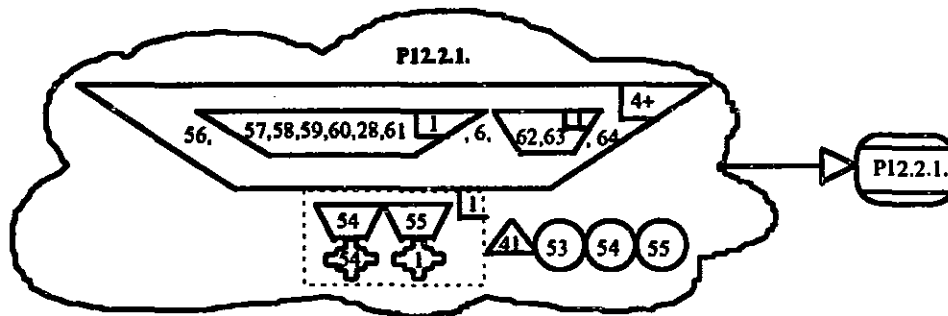


FIGURA A1.25. Neuralgia trigeminal idiopática.

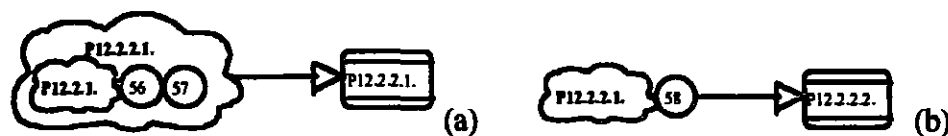


FIGURA A1.26. Neuralgia trigeminal sintomática: (a) comprensión de la raíz trigeminal o ganglionar y (b) lesiones centrales.

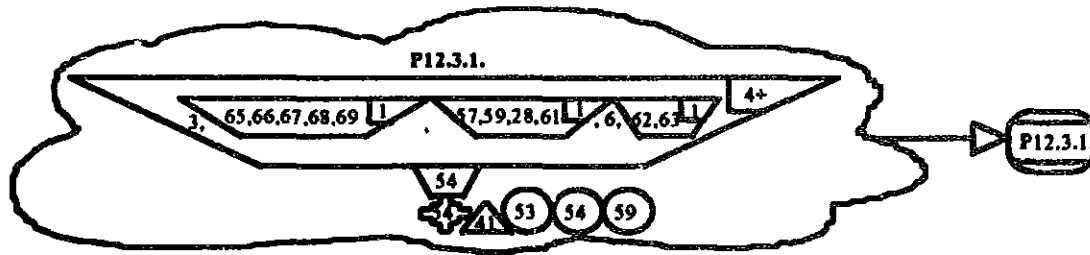


FIGURA A1.27. Neuralgia glossofaríngea idiopática.



FIGURA A1.28. Neuralgia glossofaríngea sintomática.

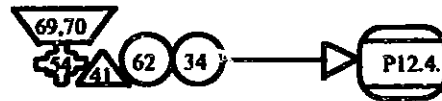


FIGURA A1.29. Neuralgia nerviosa intermedia.



FIGURA A1.30. Neuralgia laríngea superior.

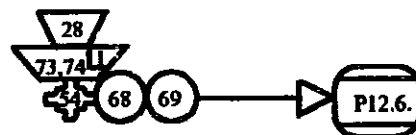


FIGURA A1.31. Neuralgia occipital.



FIGURA A1.32. (a) Anestesia dolorosa y (b) dolor talámico.

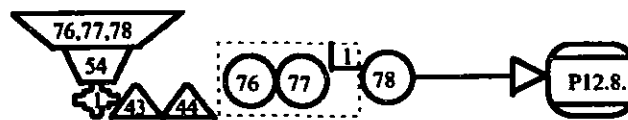


FIGURA A1.33. Dolor facial que no cumple con el criterio de los grupos 11 y 12.

Se presenta a continuación el código del cuarto dígito para el grupo 2.

Código del Cuarto Dígito para el Grupo 2

El cuarto dígito permite realizar un análisis más exhaustivo del paciente y llegar a un diagnóstico más preciso. Este tipo de análisis se realiza solamente en centros muy especializados. A continuación se muestra la clasificación utilizada por el cuarto dígito.

0. Factor causativo no identificable.
1. Más de uno de los factores del 2-9.
2. Disfunción oromaxilar.
3. Estrés psicosocial.
4. Ansiedad.
5. Depresión.
6. Dolor de cabeza como una delusión o una idea.
7. Estrés muscular.
8. Sobreuso de drogas para dolores de cabeza tipo tensional.
9. Uno de los desórdenes listados en los grupos 5-11.

Los síntomas se presentan en la tabla A1.5. Los antecedentes, tiempos y valores en la tabla A1.6.

TABLA A1.5. Síntomas

1. Ruido al mover el maxilar inferior en la unión maxilar temporal.	6. Rechinado de los dientes.	11. Estrés psicosocial
2. Movimiento maxilar.	7. Parafunción de la lengua.	12. Posición de trabajo no fisiológica.
3. Dolor en la función maxilar.	8. Parafunción de los labios.	13. Contracción muscular tónica.
4. Traba del maxilar inferior al abrirlo.	9. Morderse los cachetes.	14. Falta de descanso.
5. Apretar los dientes.	10. Apretar los cachetes.	15. Falta de sueño.

TABLA A1.6. Antecedentes, tiempos y valores.

ANTECEDENTES	TIEMPOS	VALORES
1. Completa el criterio DSM III-R para alguno de los desórdenes de ansiedad.	1. Mensualmente.	1. Limitado.
2. Completa el criterio DSM III-R para alguno de los desórdenes de depresión.	2. Más de dos veces al mes.	2. Espasmódico.
3. Completa el criterio DSM III-R para delusión somática o desorden de <i>somatoform</i> .		3. De 4 a 6.
4. Uso de analgésicos débiles que exceden 45 gramos.		4. Duradera.
5. Uso de drogas morfinómanas más de dos veces al mes.		
6. Uso de diazepam que excede 300 miligramos.		

A continuación se presentan los modelos correspondientes al código del cuarto dígito para el grupo 2.

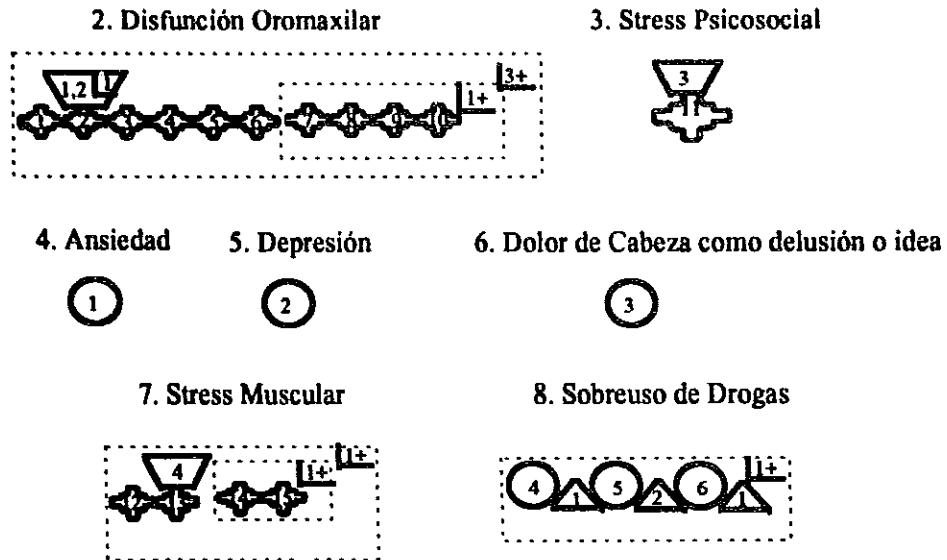


FIGURA A1.34. Código del cuarto dígito para el grupo 2.

Nota : El estrés psicosocial está asociado con los estresores psicosociales en una escala del 1 a 6 (1-no estrés; 2-medio; 3-moderado; 4-severo; 5-extremo; 6-catastrófico).

Código del Cuarto Dígito para los Grupos 5-11

A continuación se muestra la clasificación utilizada por el cuarto dígito de los grupos 5-11.

1. Dolor de cabeza descrito en el criterio de diagnóstico para el desorden particular.
2. Migraña.
3. Dolor de cabeza tipo tensional.
4. Dolor de cabeza de cluster o en racimos.
5. Tipo presión intracraneal incrementada.
6. Tipo presión intracraneal decrementada.
7. Tipo lesión local.
8. Tipo vaso dilatador.
9. Tipo puñalante.
10. Otro tipo.
11. Dos o más tipos.

Los síntomas, tiempos y antecedentes se presentan en la tabla A1.7. Los valores en la tabla A1.8.

TABLA A1.7. Síntomas, antecedentes y tiempos.

SINTOMAS	ANTECEDENTES	TIEMPOS
1. Dolor de cabeza.	1. Migraña ocurre por primera vez en relación temporal con alguno de los desórdenes listado en los grupos 5-11.	1. Tres meses o menos.
2. No áurea.	2. Dolor de cabeza tipo tensional ocurre por primera vez en relación temporal con alguno de los desórdenes listado en los grupos 5-11.	2. Menos de un seg.
3. Náusea.	3. Dolor de cabeza de cluster o hemicránea paroxismal crónica ocurre por primera vez en relación temporal con alguno de los desórdenes listado en los	

	grupos 5-11.	
4. Vómito.	4. Ausente en posición recumbente.	
	5. Medio en posición recumbente.	
	6. Ocurre en posición derecha.	
	7. Empeora en posición derecha.	

TABLA A1.8. Valores.

1. Intensidad severa.	6. Mejora espontáneamente después de levantarse.	11. Área de 5cm o menos pudiendo irradiarse a los alrededores.
2. Intensidad moderada.	7. Presente el 50% de las mañanas.	12. Bifronto-temporal.
3. Ocurre en la mañana.	8. Bilateral.	13. Pulsante.
4. Ocurre después de la siesta.	9. No pulsante.	14. Puñalante
5. Remite espontáneamente después de levantarse.	10. Constante.	15. En área pequeña

Los modelos correspondientes al código del cuarto dígito para los grupos del 5 al 11 se presentan en la figura A1.35.

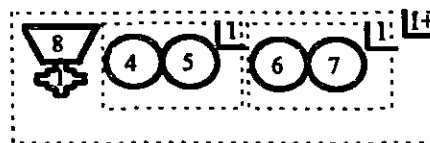
1. Migraña 2. Dolor de cabeza tipo tensional 3. Dolor de cabeza de cluster



4. Tipo presión intracraneal incrementada



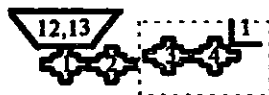
5. Tipo presión intracraneal decrementada



6. Tipo lesión local



7. Tipo vaso dilatador



8. Tipo puñalante



FIGURA A1.35. Código del cuarto dígito para los grupos 5-11.

APENDICE 2

CLASIFICACION

Cuando se modela el conocimiento con el método propuesto, los problemas de clasificación se representan por medio de un constructor estructural particular. El tratamiento posterior para transformar este constructor del modelo a reglas de producción, es diferente al tratamiento de otros constructores. La tarea de clasificación está completamente relacionada al aprendizaje humano. Por medio de la clasificación se aprende. En inteligencia artificial, la tarea de clasificación está relacionada al campo de aprendizaje de máquina¹. Esta representa otra línea de investigación que no es objeto de estudio en esta tesis. Sin embargo, con la metodología desarrollada el ingeniero en conocimientos también puede modelar problemas que involucren parcialmente este tipo de tareas (ver sección 4.2). Posteriormente, en base a sus conocimientos y experiencia, debe seleccionar el método que considere apropiado para convertir el conocimiento de las tablas a reglas de producción. En este apéndice se sugiere utilizar ID3 (Quinlan, 1986) para problemas simples de clasificación.

Clasificación significa categorizar un sistema, es la especialización de la tarea principal de identificación. Ignizio (1991) define a la tarea de clasificar como:

- a. Intento de dibujar límites acerca de elementos existentes.
- b. Problemas que requieren de búsqueda hacia atrás.
- c. Problema de asignación de objetos a una clase definida.
- d. Problema de identificación.
- e. Ordenar o poner por clases.

El problema de clasificación también se puede observar como un problema caracterizado por la necesidad de seleccionar una solución de un conjunto de alternativas bien definidas. Cuando se pueden identificar las clases y los atributos de cierto problema, entonces se puede intuir que el problema es de clasificación. Generalmente estos se presentan en forma de tablas. Las columnas corresponde a los atributos, la última columna generalmente expresa la clase, y los renglones expresan las ocurrencias. A partir de la tabla se pueden utilizar métodos inductivos, por ejemplo ID3.

La inducción permite aprender, permite generar nuevo conocimiento que no existe en las premisas, pero no se puede asegurar que la conclusión sea verdadera. Si se parte de una muestra suficientemente grande y diversa de conocimientos sobre un problema en particular, entonces se puede tener prácticamente la seguridad de que la conclusión es válida, pero sólo para los hechos y descripciones que fueron originalmente planteadas. Respecto a la parte práctica de los métodos inductivos, éstos permiten generar un árbol de derivación óptimo, a partir del cual se generan reglas de producción óptimas también. Estas reglas se pueden utilizar posteriormente para la construcción de un SBC. El árbol de derivación, es simplemente un árbol de decisión, también conocido con el nombre de modelo de clasificación.

¹ En el mundo de la computación aprendizaje de máquina es mejor conocido con el nombre original en inglés: machine learning.

Iterative Dichotomizer Tree (ID3)

El método ID3 fue desarrollado por Quinlan (1986). Está basado en el sistema de aprendizaje de conceptos. El método, dado un conjunto de situaciones, cada una descrita en términos de características, y un valor de clase, induce una regla de clasificación de situación. Si la regla se genera a partir de un conjunto exhaustivo de situaciones preclasificadas², se garantiza una clasificación correcta de todas las situaciones de entrada legales.

Existen dos conceptos fundamentales en el método ID3: *entropía* y *árbol de decisión*. El concepto de entropía se utiliza para encontrar el parámetro más importante que permite caracterizar al clasificador. El concepto de entropía se utiliza para ordenar la lista de los descriptores con respecto al conjunto de datos y al clasificador. En física este concepto se asocia al de *aleatoriedad*. Estructurar o poner orden en un conjunto de datos representa una reducción de los hechos fortuitos. Una forma de poner orden es dividir el conjunto de datos en subconjuntos significativos. Esto se puede realizar por medio de un descriptor. Un descriptor con una entropía cero o cercana a cero, representa la mejor opción. Es decir, la eliminación de hechos al azar, la mejor discriminación. Un descriptor con una entropía lejana de cero, representa la mayor posibilidad de hechos fortuitos. El conjunto de datos, por otra parte, se debe ordenar considerando la entropía de los diferentes descriptores. El orden es ascendente.

La entropía permite determinar cuales son los descriptores más significativos. El árbol de decisión es una estructura de datos que organiza eficientemente los descriptores. El objetivo principal de este árbol es almacenar una serie ordenada de descriptores. Cuando se recorre el árbol, a través de preguntas y respuestas, se va seleccionando la trayectoria adecuada. Al final de la trayectoria se encuentra el objeto clasificado. En conclusión, el árbol de decisión es un medio eficiente e intuitivo de organizar los descriptores, los cuales pueden ser utilizados como funciones predictivas. La raíz de este árbol corresponde al descriptor con la menor entropía.

La Definición del Algoritmo ID3

Luego de que los principales componentes del método han sido descritos, se puede presentar la fórmula de ID3 (fórmula 4.1). Esta, permite calcular la entropía de los diferentes descriptores.

FORMULA A2.1. ID3

$$H(A_k) = \sum_{j=1}^{M_j} P(A_{k,j}) * \left[- \sum_{i=1}^N P(C_i / A_{k,j}) * \log_2 P(C_i / A_{k,j}) \right]$$

² Una situación preclasificada es una secuencia de valores de atributos junto con su valor de clase correspondiente.

Donde:

$H(A_k)$: representa la entropía del atributo A_k .

$P(A_k / j)$: expresa la probabilidad del atributo A_k al tener un valor j .

$P(C_i / A_{kj})$: representa la probabilidad de la clase C_i cuando el atributo A_k tiene un valor j .

M_k : representa el número de valores del atributo A_k .

N : expresa el número de clases.

K : representa el número total de atributos.

Un Ejemplo de Clasificación

En la tabla A2.1 se presentan diferentes ocurrencias, que determinan de acuerdo a los valores de los atributos, *si va a llover o no*. En la tabla se observan tres atributos: cielo, barómetro y viento. Cada uno de estos tiene diferentes valores: cielo (limpio, nublado), barómetro (subiendo, estable, bajando) y viento (norte, sur). Existe además una clase: lluvia, con dos valores: si y no. En la tabla se observan 8 ocurrencias.

TABLA A2. 1. Tabla de datos

CIELO	BAROMETRO	VIENTO	LLUVIA
Limpio	Subiendo	Norte	No
Nublado	Subiendo	Sur	Si
Nublado	Estable	Norte	Si
Limpio	Bajando	Norte	No
Nublado	Bajando	Norte	Si
Nublado	Subiendo	Norte	Si
Nublado	Bajando	Sur	No
Limpio	Subiendo	Sur	No

Las entropías obtenidas aplicando la fórmula A2.1, para cada uno de los atributos son las siguientes:

$$H(\text{cielo}) = 0.4512$$

$$P(\text{cielo} / \text{limpio}) = 3/8$$

$$P(\text{no} / \text{cielo, limpio}) = 3/3$$

$$P(\text{si} / \text{cielo, limpio}) = 0/3$$

$$P(\text{cielo} / \text{nublado}) = 5/8$$

$$P(\text{no} / \text{cielo, nublado}) = 1/5$$

$$P(\text{si} / \text{cielo, nublado}) = 4/5$$

$$H(\text{barómetro}) = 0.8443$$

$$P(\text{barómetro} / \text{subiendo}) = 4/8$$

$$P(\text{no} / \text{barómetro, subiendo}) = 2/4$$

$$P(\text{si} / \text{barómetro, subiendo}) = 2/4$$

Apéndice 2. Clasificación.

$$\begin{aligned}
 P(\text{barómetro} / \text{estable}) &= 1/8 \\
 P(\text{no} / \text{barómetro}, \text{estable}) &= 0/1 \\
 P(\text{si} / \text{barómetro}, \text{estable}) &= 1/1 \\
 P(\text{barómetro} / \text{bajando}) &= 3/8 \\
 P(\text{no} / \text{barómetro}, \text{bajando}) &= 2/3 \\
 P(\text{si} / \text{barómetro}, \text{bajando}) &= 1/3
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 H(\text{viento}) &= 0.9512 \\
 P(\text{viento} / \text{norte}) &= 5/8 \\
 P(\text{no} / \text{viento}, \text{norte}) &= 2/5 \\
 P(\text{si} / \text{viento}, \text{norte}) &= 3/5 \\
 P(\text{viento} / \text{sur}) &= 3/8 \\
 P(\text{no} / \text{viento}, \text{sur}) &= 2/3 \\
 P(\text{si} / \text{viento}, \text{sur}) &= 1/3
 \end{aligned}$$

El árbol de decisión que se obtiene luego de aplicar los descriptores -considerando sus entropías- en el orden correcto, se observan en la figura A2.1.

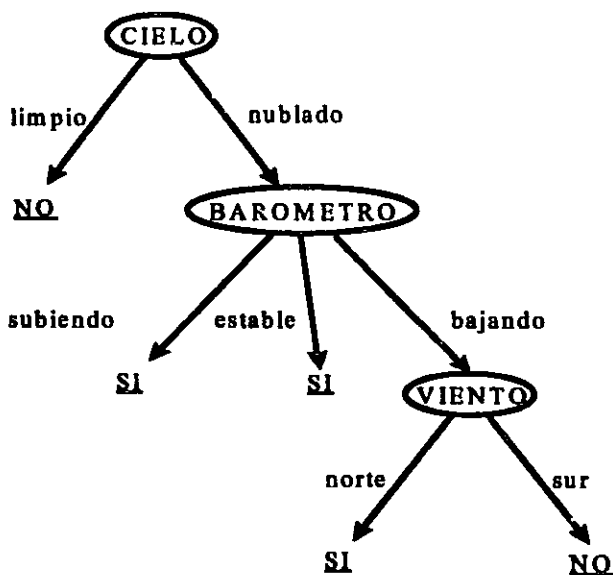


FIGURA A2.1. Arbol de decisión óptimo de la tabla A2.1.

Los subconjuntos que se obtienen luego de aplicar correctamente los descriptores, se observan en las tablas A2.2. y A2.3. Es de notar, que el orden de las tablas depende de las entropías de los descriptores.

TABLA A2.2. Clasificación para el descriptor cielo (valor = limpio)

BAROMETRO	VIENTO	LLUVIA
Subiendo	Norte	No
Bajando	Norte	No
Subiendo	Sur	No

TABLA A2.3. Clasificación de acuerdo al descriptor cielo (valor = nublado)

BAROMETRO	VIENTO	LLUVIA
Subiendo	Sur	Si
Estable	Norte	Si
Bajando	Norte	Si
Subiendo	Norte	Si
Bajando	Sur	No

Finalmente, las reglas de producción que se deducen a partir de estas tablas, y se pueden utilizar para la construcción de un SBC, se presentan a continuación:

- a. Si (cielo = limpio)
entonces (lluvia = No)
- b. Si (cielo = nublado) y (barómetro = subiendo)
entonces (lluvia = Si)
- c. Si (cielo = nublado) y (barómetro = estable)
entonces (lluvia = Si)
- d. Si (cielo = nublado) y (barómetro = bajando) y (viento = norte)
entonces (lluvia = Si)
- e. Si (cielo = nublado) y (barómetro = bajando) y (viento = sur)
entonces (lluvia = No)

Finalmente, se presenta otro ejemplo de clasificación. Este es un caso real que permite especificar el tipo de lentes de contacto que debe utilizar un determinado paciente. La base de datos se obtuvieron de la Universidad de California en Irvine. El ejemplo es útil en la medida que permite observar claramente como se puede aplicar el método ID3, como se genera el árbol de derivación óptimo, y posteriormente la forma en que se obtienen las reglas de producción para la construcción del sistema basado en conocimientos.

Clasificación para la Selección de Lentes de Contacto

La información se obtuvo de:

- a. Cendrowska, J. (1987) *PRISM: An Algorithm for inducing modular rules*, International Journal of Man-Machine Studies, 27, pp349-370.
- b. Donador: Benoit Julien (Julien@ce.cmu.edu)
- c. Fecha: 1 Agosto 1990

La base de datos fue anteriormente usada por:

- a. Witten, I& MacDonald, B. (1988). *Using concept learning for knowledge acquisition*. International Journal of Man-Machine Studies, 27, pp. 349-370.

Apéndice 2. Clasificación.

Cabe destacar que los ejemplos están completos y libres de ruido. Estos ejemplifican correctamente el problema a resolver. Los atributos no describen completamente todos los factores que afectan la decisión acerca del lente de contacto que se debe recetar. Se presentan a continuación el número de instancias, el número de atributos y la información de los atributos.

- a. Número de instancias: 24
- b. Número de atributos: 4 (todos nominales) + clase = 5
- c. Información de los atributos:
 - c1. Edad del paciente: (1) joven, (2) pre-presbiótico, (3) presbiótico.
 - c2. Prescripción: (1) miope, (2) hipermetropía.
 - c3. Astigmatismo: (1) si, (2) no.
 - c4. Producción de lágrimas: (1) reducido, (2) normal, (3) aumentado.
 - c5. Clases: (1) el paciente debería usar lentes de contacto duros, (2) el paciente debería usar lentes de contacto blandos, el paciente no debería usar lentes de contacto.
- d. Número de valores de atributos faltantes: 0
- e. Distribución de las clases:
 - e1. lentes de contacto duros: 4.
 - e2. lentes de contacto blandos: 5.
 - e3. no lentes de contacto: 15.

La base de datos³ completa se presenta en la tabla A2.4.

TABLA A2.4. Base de datos con información sobre lentes de contacto.

EDAD	PRESCRIPCIÓN	ASTIGMATISMO	PRODUCCIÓN DE LÁGRIMAS	CLASE
1	1	1	3	1
1	1	2	2	1
1	2	1	3	1
1	2	2	1	1
2	1	1	3	1
2	1	2	2	1
2	2	1	3	1
2	2	2	1	1
1	1	1	3	2
1	1	2	2	2
1	2	1	3	2
1	2	2	1	2
2	1	1	3	2
2	1	2	2	2
2	2	1	3	2
2	2	2	3	2
1	1	1	3	3
1	1	2	3	3
1	2	1	3	3
1	2	2	1	3

³El archivo de datos correspondiente es: lentes.dat.

2	1	1	3	3
2	1	2	2	3
2	2	1	3	3
2	2	2	3	3

Las entropías para cada uno de los atributos aplicando la fórmula A2.1. del método ID3 son las siguientes:

$$H(\text{edad}) = 1.584962$$

$$\begin{aligned}
 P(\text{edad} / \text{joven}) &= 12/24 \\
 P(\text{lentes de contacto duros} / \text{edad, joven}) &= 4/12 \\
 P(\text{lentes de contacto blandos} / \text{edad, joven}) &= 4/12 \\
 P(\text{no lentes de contacto} / \text{edad, joven}) &= 4/12 \\
 P(\text{edad} / \text{pre-presbiótico}) &= 12/24 \\
 P(\text{lentes de contacto duros} / \text{edad, pre-presbiótico}) &= 4/12 \\
 P(\text{lentes de contacto blandos} / \text{edad, pre-presbiótico}) &= 4/12 \\
 P(\text{no lentes de contacto} / \text{edad, pre-presbiótico}) &= 4/12 \\
 P(\text{edad} / \text{presbiótico}) &= 0/24 \\
 P(\text{lentes de contacto duros} / \text{edad, presbiótico}) &= 0/0 \\
 P(\text{lentes de contacto blandos} / \text{edad, presbiótico}) &= 0/0 \\
 P(\text{no lentes de contacto} / \text{edad, presbiótico}) &= 0/0
 \end{aligned}$$

$$H(\text{prescripción}) = 1.584962$$

$$\begin{aligned}
 P(\text{prescripción} / \text{miope}) &= 12/24 \\
 P(\text{lentes de contacto duros} / \text{prescripción, miope}) &= 4/12 \\
 P(\text{lentes de contacto blandos} / \text{prescripción, miope}) &= 4/12 \\
 P(\text{no lentes de contacto} / \text{prescripción, miope}) &= 4/12 \\
 P(\text{prescripción} / \text{hipermetropía}) &= 12/24 \\
 P(\text{lentes de contacto duros} / \text{prescripción, hipermetropía}) &= 4/12 \\
 P(\text{lentes de contacto blandos} / \text{prescripción, hipermetropía}) &= 4/12 \\
 P(\text{no lentes de contacto} / \text{prescripción, hipermetropía}) &= 4/12
 \end{aligned}$$

$$H(\text{astigmatismo}) = 1.584962$$

$$\begin{aligned}
 P(\text{astigmatismo} / \text{si}) &= 12/24 \\
 P(\text{lentes de contacto duros} / \text{astigmatismo, si}) &= 4/12 \\
 P(\text{lentes de contacto blandos} / \text{astigmatismo, si}) &= 4/12 \\
 P(\text{no lentes de contacto} / \text{astigmatismo, si}) &= 4/12 \\
 P(\text{astigmatismo} / \text{no}) &= 12/24 \\
 P(\text{lentes de contacto duros} / \text{astigmatismo, no}) &= 4/12 \\
 P(\text{lentes de contacto blandos} / \text{astigmatismo, no}) &= 4/12 \\
 P(\text{no lentes de contacto} / \text{astigmatismo, no}) &= 4/12
 \end{aligned}$$

$$H(\text{prod. de lágrimas}) = 1.545564$$

$$\begin{aligned}
 P(\text{prod. de lágrimas} / \text{reducido}) &= 4/24 \\
 P(\text{lentes de contacto duros} / \text{prod. de lágrimas, reducido}) &= 2/4 \\
 P(\text{lentes de contacto blandos} / \text{prod. de lágrimas, reducido}) &= 1/4
 \end{aligned}$$

Apéndice 2. Clasificación.

P(no lentes de contacto / prod. de lágrimas, reducido)	= 1/4
P(prod. de lágrimas / normal)	= 5/24
P(lentes de contacto duros / prod. de lágrimas, normal)	= 2/5
P(lentes de contacto blandos / prod. de lágrimas, normal)	= 2/5
P(no lentes de contacto / prod. de lágrimas, normal)	= 1/5
P(prod. de lágrimas / aumentado)	= 15/24
P(lentes de contacto duros / prod. de lágrimas, aumentada)	= 4/15
P(lentes de contacto blandos / prod. de lágrimas, aumentada)	= 5/15
P(no lentes de contacto / prod. de lágrimas, aumentada)	= 6/15

Los subconjuntos que se obtienen luego de aplicar correctamente los descriptores, se pueden observar en las tablas A2.5, A2.6., y A2.7.

TABLA A2.5. Clasificación de acuerdo al descriptor: prod. lágrimas (valor = 3).

PRESCRIPCION	ASTIGMATISMO	EDAD	CLASE
1	1	1	1
2	1	1	1
1	1	2	1
2	1	2	1
1	1	1	2
2	1	1	2
1	1	2	2
2	1	2	2
2	2	2	2
1	1	1	3
1	2	1	3
2	1	1	3
1	1	2	3
2	1	2	3
2	2	2	3

TABLA A2.6. Clasificación de acuerdo al descriptor: prod. lágrimas (valor = 2).

PRESCRIPCION	ASTIGMATISMO	EDAD	CLASE
1	2	1	1
1	2	2	1
1	2	1	2
1	2	2	2
1	2	2	3

TABLA A2.7. Clasificación de acuerdo al descriptor: prod. lágrimas (valor = 1).

PRESCRIPCION	ASTIGMATISMO	EDAD	CLASE
2	2	1	1
2	2	2	1
2	2	1	2
2	2	1	3

Finalmente, las reglas de producción que se deducen a partir de estas tablas, y se pueden utilizar para la construcción de un sistema basado en conocimientos, se presentan a continuación:

Si (prod.lágrimas = 3)
 y (prescripción = 1)
 y (astigmatismo = 1)
 y (edad = 1)
entonces (clase = 1)

Si (prod.lágrimas = 3)
 y (prescripción = 2)
 y (astigmatismo = 1)
 y (edad = 2)
entonces (clase = 1)

Si (prod.lágrimas = 2)
 y (edad = 2)
entonces (clase = 1)

Si (prod.lágrimas = 3)
 y (prescripción = 1)
 y (astigmatismo = 1)
 y (edad = 2)
entonces (clase = 1)

Si (prod.lágrimas = 3)
 y (prescripción = 2)
 y (astigmatismo = 1)
 y (edad = 1)
entonces (clase = 2)

Si (prod.lágrimas = 2)
 y (edad = 1)
entonces (clase = 2)

Si (prod.lágrimas = 3)
 y (prescripción = 1)
 y (astigmatismo = 1)
 y (edad = 1)
entonces (clase = 2)

Si (prod.lágrimas = 3)
 y (prescripción = 2)
 y (astigmatismo = 1)
 y (edad = 2)
entonces (clase = 2)

Si (prod.lágrimas = 2)
 y (edad = 2)
entonces (clase = 2)

Si (prod.lágrimas = 3)
 y (prescripción = 1)
 y (astigmatismo = 1)
 y (edad = 2)
entonces (clase = 2)

Si (prod.lágrimas = 3)
 y (prescripción = 2)
 y (astigmatismo = 2)
 y (edad = 2)
entonces (clase = 2)

Si (prod.lágrimas = 2)
 y (edad = 2)
entonces (clase = 3)

Si (prod.lágrimas = 3)
 y (prescripción = 1)
 y (astigmatismo = 1)
 y (edad = 1)
entonces (clase = 3)

Si (Prod.lágrimas = 3)
 y (Prescripción = 2)
 y (Astigmatismo = 1)
 y (Edad = 1)
entonces (Clase = 3)

Si (Prod.lágrimas = 1)
 y (Edad = 1)
entonces (Clase = 1)

Si (prod.lágrimas = 3)
 y (prescripción = 1)
 y (astigmatismo = 2)
 y (edad = 1)
entonces (clase = 3)

Si (prod.lágrimas = 3)
 y (prescripción = 2)
 y (astigmatismo = 1)
 y (edad = 2)
entonces (clase = 3)

Si (prod.lágrimas = 1)
 y (edad = 2)
entonces (clase = 1)

Apéndice 2. Clasificación.

Si (prod.lágrimas = 3)
y (prescripción = 1)
y (astigmatismo = 1)
y (edad = 2)
entonces (clase = 3)

Si (prod.lágrimas = 3)
y (prescripción = 2)
y (astigmatismo = 2)
y (edad = 2)
entonces (clase = 3)

Si (prod.lágrimas = 1)
y (edad = 1)
entonces (clase = 2)

Si (prod.lágrimas = 3)
y (prescripción = 2)
y (astigmatismo = 1)
y (edad = 1)
entonces (clase = 1)

Si (prod.lágrimas = 2)
y (edad = 1)
entonces (clase = 1)

Si (prod.lágrimas = 1)
y (edad = 1)
entonces (clase = 3)

Finalmente, cabe destacar que la inducción permite aprender, permite generar nuevo conocimiento que no existe en las premisas, pero no se puede asegurar que la conclusión sea verdadera. Si se parte de un conjunto suficientemente grande y diverso, entonces se puede tener prácticamente la seguridad de que la conclusión es válida, pero sólo para los hechos y descripciones que fueron originalmente planteadas.

APENDICE 3

ASPECTOS DE LA TEORIA DEL CONOCIMIENTO

La teoría de la ciencia se descompone en su parte formal y en su parte material. La parte formal está directamente relacionada a la lógica. Esta, investiga los principios formales del conocimiento, es decir, las formas y las leyes más generales del pensamiento humano. La parte material, está relacionada con la teoría del conocimiento. Es decir, supuestos materiales más generales del conocimiento científico. La teoría del conocimiento es una explicación e interpretación filosófica del conocimiento humano. Existen dos ramas de esta teoría: el conocimiento filosófico y el conocimiento científico. El primero está dirigido a la totalidad de las cosas. El segundo está orientado hacia las parcelas de la realidad.

El conocimiento consiste en forjar una imagen del objeto. La verdad del conocimiento es la concordancia de esta imagen con el objeto. La modelación del conocimiento, por otra parte, consiste del análisis y síntesis de conceptos pertenecientes a un dominio específico del conocimiento y de la representación posterior en un modelo conceptual. Palomäki (1993) señala que si este modelo se considera como formulado a partir de una teoría de modelación, entonces se podría establecer una analogía entre construir modelos conceptuales y construir teorías científicas. Por otra parte, si se adopta esta analogía, sería válido realizar las siguientes preguntas (Russell, 1927):

- a. ¿Puede su estructura lógica ser considerada como un sistema deductivo?
- b. ¿En qué medida esa estructura lógica se puede considerar como una ciencia?
- c. ¿Cuáles son los fundamentos existentes para determinar si una ciencia dada es verdadera?

La primera pregunta es de tipo lógico e inmediatamente genera la siguiente pregunta: *¿Qué formas existen para definir las entidades de una ciencia dada y deducir a partir de una serie inicial de términos y axiomas, otros términos y axiomas?* La segunda pregunta es de tipo epistemológico y deriva en la siguiente pregunta: *¿Qué hechos y entidades que conocemos son relevantes a la ciencia en cuestión y pueden servir como su fundamento epistemológico o empírico?* La tercera pregunta es de tipo ontológico y origina la siguiente pregunta: *¿Cuál es la estructura general de los fundamentos existentes?* (Palomäki, 1993).

Evidentemente, el análisis lógico de un sistema deductivo no es una tarea sencilla, definida y limitada. Uno de los mejores ejemplos lo representa el análisis de la teoría de los números naturales. En el siglo pasado, Weierstrass y otros, demostraron que el mundo del análisis lógico se podía reducir a la teoría de los números naturales. La siguiente etapa en el análisis lógico fue reducir esa teoría a un pequeño conjunto de premisas y términos a partir de los cuales los números se podían deducir. Ese trabajo fue realizado por Dedekind y Peano. Sin embargo, los trabajos posteriores de Gödel, Skolem y Tarski, demostraron que la teoría de los números naturales no puede ser presentada completamente y de forma no ambigua como una teoría formal.

La situación de Dedekind y Peano en los últimos años del siglo anterior, es similar a lo que ocurre actualmente en lo que respecta al análisis lógico de una teoría de modelación del conocimiento. Este tipo de análisis requiere de consideraciones epistemológicas e inclusive psicológicas (Palomäki, 1993).

Los Postulados de una Ciencia, Sistema o Modelo Deductivo

Aristóteles señala que un modelo, sistema o ciencia deductiva S , se caracteriza por los siguientes tres postulados (Beth, 1959; Beth & Piaget, 1966):

- a. ***El Postulado de la Deducción.*** Una ciencia deductiva S está basada en un cierto número de principios primitivos: *términos primitivos* (tp) y *sentencias primitivas* o *axiomas* (ax). Todo término no primitivo (tnp) perteneciente a S se debe definir a partir de tp . Todo axioma no primitivo (anp) se debe demostrar aplicando un proceso lógico de razonamiento que debe iniciar a partir de ax . *Si $ax \in S \Rightarrow anp \in S$.*
- b. ***El Postulado de la Evidencia Propia.*** Todo $tp \in S$ se debe poder comprender sin la necesidad de una definición. Además, todo $ax \in S$ debe ser lo suficientemente claro, como para poder aceptarse como verdadero sin la necesidad de una demostración. Cualquier $ax \in S$ debe ser verdadero. La evidencia propia es la característica fundamental de las intuiciones. Una cognición intuitiva es consistente, justificable y explicable en si misma. Descartes mencionaba la evidencia y la certidumbre como las características básicas de la intuición.
- c. ***El Postulado de la Realidad.*** Todo $tp \in S \wedge ax \in S$ deben referir a un dominio específico del conocimiento.

El primer postulado asegura la estructura lógica, el segundo concierne el estado epistemológico y el tercero es de tipo ontológico. En realidad, en la concepción Aristotélica, se observa una estructura dual. Por una parte, la ciencia se formula sobre la base de principios primitivos. Por otra parte, de términos y axiomas no primitivos, definibles a partir de términos primitivos. La estructura dual es inevitable, de otra forma nos conduciría a una regresión infinita. La concepción Aristotélica involucra a dos facultades inherentes de la mente humana: el razonamiento y la intuición.

El razonamiento, desde el punto de vista Aristotélico, juega un rol fundamental: *permite desarrollar las consecuencias de los principios primitivos.* La intuición refiere a una gran variedad de fenómenos cognoscitivos. Puede significar la fuente fundamental de cierto conocimiento, un método particular de obtener la verdad, la esencia de la realidad, o un tipo especial de cognición caracterizado por la evidencia propia y la inmediatez. Sin embargo, según Aristóteles, la intuición tiene un papel secundario: *está subordinada al razonamiento.*

Más adelante, en los trabajos de Descartes y Kant, se observa un cambio en la concepción: se elimina el razonamiento y se fundamenta la demostración formal sobre la base del intuicionismo. En estos trabajos se asigna a S una estructura unitaria en donde los términos definibles y los axiomas demostrables se derivan inmediatamente por la intuición, sin tener a la razón como intermediario formal. Las demostraciones se identifican con procesos de pensamiento, más que con esquemas lógicos. Descartes se refiere a la intuición como la fuente de conocimiento

Apéndice 3. Aspectos de la Teoría del Conocimiento.

verdadero -o aparentemente verdadero-. Para él, la intuición se mantiene como la última fuente fiable de algunas verdades absolutas. Kant, por otro parte, se refiere a la intuición como la facultad a través de la cual los objetos son directamente entendidos. Para él, la intuición se mantiene relacionada al conocimiento sensorial.

La logística de Leibniz también le otorga una estructura unitaria a las ciencias deductivas. Sin embargo, Leibniz sugirió una reducción absoluta de principios primitivos que se deben definir en términos de axiomas indemostrables. Brouwer demostró que la adopción del punto de vista estrictamente intuicionista implica el sacrificio de un gran número de teoremas clásicos, especialmente en matemáticas. Hilbert, por otra parte, recomendó un regreso a la intuición. Señala que no debemos olvidar el papel que juegan las imágenes en nuestra forma de pensar.

Lo importante del trabajo de Aristóteles es la polémica originada en el énfasis de las dos facultades de la mente humana: el razonamiento y la intuición. Finalmente, cabe destacar que todo conocimiento presupone un sujeto, un objeto y relaciones entre ellos (Beth & Piaget, 1966). Las relaciones son entre la realidad y la representación. En el objeto distinguimos sus propiedades y su tipo de existencia. Por lo tanto, se deben considerar tres sistemas y relaciones entre ellos. El sistema *P* consiste de las actividades del sujeto (psicología), el sistema *L* consiste de las propiedades o formas del objeto (lógica), el sistema *O* consiste de los tipos de existencia del objeto (ontología) y las relaciones entre ellos: *PL*, *PO*, y *LO* (epistemología). Un buen análisis de un modelo debe incluir entonces todas estas consideraciones: lógicas, ontológicas, psicológicas y epistemológicas.