

# 1. DEFINICION, MOTIVACION Y ORIGEN DE LOS SISTEMAS EXPERTOS

## 1.1. SISTEMAS CON BASE DE CONOCIMIENTOS

Sistema computacional que ejecuta un proceso de razonamiento similar al que realiza un experto humano dentro de un dominio limitado del saber.

Generalmente, en la actualidad, los Sistemas Expertos ( SS. EE. ) se implementan con software, utilizando una Base de Conocimientos y un Mecanismo de Inferencia para modelar el razonamiento del experto, aunque se está comenzando a implementar SS. EE. basados en Redes Neuronales, inspiradas en lo que se conoce sobre la arquitectura y funcionamiento de los cerebros biológicos.

El término "Sistema con Base de Conocimientos" o "Sistema Basado en Conocimientos" (inglés: "Knowledge-Based System") se usa a veces como sinónimo de Sistema Experto (S. E. ), y a veces en un sentido más general o para no hacer alusión a algún paralelo con el desempeño de un experto humano.

## 1.2. APLICACIONES TIPICAS

Los SS.EE. Proporcionan una tecnología adecuada para automatizar procesos de razonamiento para resolver problemas en los cuales no es adecuada una metodología de computación más tradicional.

Los problemas en los cuales ha resultado más efectivo aplicar la tecnología de los SS. EE., generalmente pertenecen a los siguientes tipos, aclarando que algunos de estos tipos están muy relacionados, y por lo tanto un sistema dado puede considerarse como perteneciente simultáneamente a varios tipos:

- Clasificación o Interpretación :
- Diagnóstico : Técnico o Médico
- Predicción y previsión Ej: para mantenimiento preventivo.
- Diseño o Configuración de equipos o sistemas
- Planeación
- Monitoreo y Control
- Vigilancia y alarma
- Instrucción

## 1.3. PROGRAMA TRADICIONAL vs. SISTEMA EXPERTO

Existen tareas difíciles de automatizar y problemas difíciles de resolver por los métodos computacionales tradicionales. Algunas de las causas de esto son:

- El fenómeno de **explosión combinatoria**

El crecimiento desmesurado del número de estados posibles de un sistema, o del número de alternativas a considerar para resolver un problema

- Los **dominios no estructurados**

Aquellos para los cuales no se dispone de teorías o modelos causales detallados, ni métodos matemáticos suficientes para aplicar algoritmos que garanticen soluciones satisfactorias.

- La necesidad de **sentido común**

La necesidad de aplicar gran cantidad de conocimientos, adquiridos durante la vida y que aplicamos de manera natural, casi sin darnos cuenta, pero que no los tenemos bien definidos ni formulados explícitamente.

Los SS.EE. utilizan conocimientos denominados "heurísticas", o "reglas heurísticas" para hacer manejables los problemas, y atacar las mencionadas dificultades.

Sin embargo, por ejemplo, la implementación de un sistema para diagnóstico, con una programación tradicional, podría ser :

```

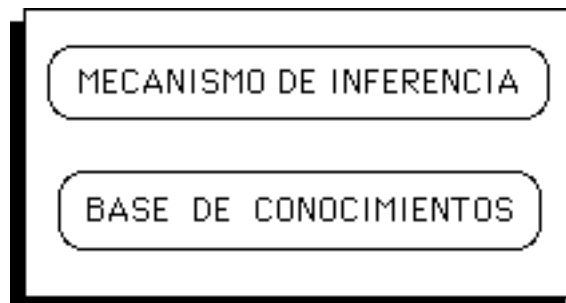
Begin
Nombre := ask("Nombre ? ")
Edad := ask("Edad ? ")
.....
Sintoma_1 := ask("Sintoma ? ")
....
if GRAMNEG in SINTOMAS then
    Begin
        forma := ask("Morfología ? ")
        if forma := "COCUS" then
            Begin
                fiebre := ask("Ha tenido ...")
                if fiebre := "SI" then
                    . . . . .
    
```

Este tipo de implementación presenta dificultades como las siguientes:

- 1- Es difícil evaluar lo que "sabe" el sistema.
- 2- Es engorroso modificarlo o actualizarlo, es demasiado rígido.
- 3- Que pasa con la inexactitud e incertidumbre inherentes a los conocimientos, en general ?

Estos problemas surgen en gran medida porque en este caso se están mezclando los "conocimientos" con el "procedimiento lógico".

Un aporte metodológico fundamental hecho por los SS.EE. es el concepto de separación del "conocimiento", el cual se organiza en una estructura denominada **BASE DE CONOCIMIENTOS** (B.C.) , y el "procedimiento lógico" implementado en un **MECANISMO DE INFERENCIA** (M.I.).



### 1.3.1 DIFERENCIAS ENTRE UN PROGRAMA CONVENCIONAL Y UN SISTEMA EXPERTO

| SISTEMA CONVENCIONAL  | SISTEMA EXPERTO  |
|---|--|
| Conocimiento y Lógica de Proceso mezclados en un programa                   | Base de Conocimientos y Mecanismo de Inferencia separados .                  |
| No explican porqué se necesitan los datos ni porqué se llegó a un resultado | Lo explican  |
| Es difícil efectuar cambios en los conocimientos programados.               | Es más fácil modificar la Base de Conocimientos                              |
| Necesitan información completa para operar                                  | Deben ser más tolerantes para operar aún con alguna información desconocida  |
| Generalmente manejan datos cuantitativos                                    | Manejan datos cualitativos primordialmente                                   |
| Captura, amplifica y distribuye el acceso a datos numéricos o textuales     | Captura, amplifica y distribuye el acceso a juicios basados en conocimientos |

## 1.4. DESARROLLO HISTORICO DE LOS SS.EE.

Los SS. EE. son un producto de la investigación en Inteligencia Artificial.

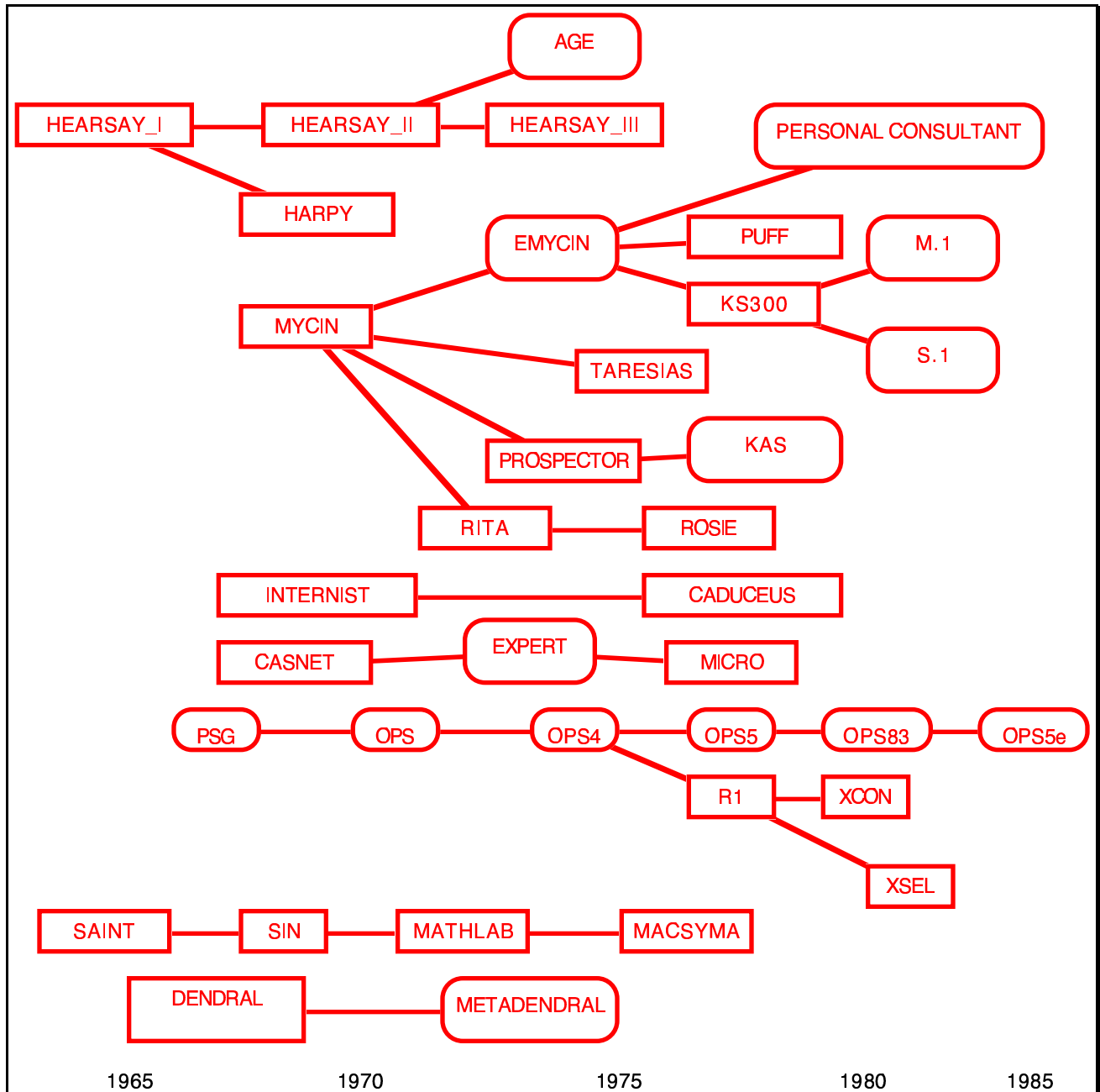
La investigación en I. A. inicialmente estuvo muy centrada en el estudio de métodos formales de búsqueda y solución de problemas. Los SS.EE. se desarrollan a mediados del decenio 1960-1970, al reconocerse la importancia primordial que tienen los conocimientos particulares de un dominio para que los métodos formales de búsqueda e inferencia sean eficaces en la solución de problemas.

El concepto de S.E. fué formulado por primera vez por Edward Feigenbaum en el congreso internacional de I.A. de 1977 (IJCAI 77 = International Joint Conference on A. I. ). El desarrollo en sí de esta arquitectura y metodología se puede caracterizar en las siguientes etapas:

- 1- INVENCIÓN : Al aumentar el número de reglas heurísticas que se debía incluir en un sistema, estas van tomando "identidad" como Bases de Conocimientos. Tal es el caso de DENDRAL y MACSYMA. Epoca: 1965-1970
- 2- PROTOTIPOS: Una vez constatada la viabilidad del concepto, se producen desarrollos según distintos criterios de estructuración y proceso

de el conocimiento. Los sistemas significativos de esta etapa son: CASNET, MYCIN, HEARSAY II y PROSPECTOR. Esto ocurre entre 1970 y 1977

3- EXPERIMENTACION: 1977-1981; Se aplican los conceptos de los S.E. a distintas áreas: Las ideas de CASNET se utilizan en INTERNIST, las de MYCIN en PUFF, GUIDON y SACON, las de PROSPECTOR en HYDRO, las de HEARSAY II en HEARSAY III y HASP.



También en esta etapa se producen los primeros intentos de formalizar la construcción de SS.EE. mediante herramientas para el desarrollo, produciéndose, por ejemplo: METADENDRAL, a partir de DENDRAL; TEIRESIAS,

EMYCIN, RITA y ROSIE a partir de MYCIN; KAS derivado de PROSPECTOR, y el sistema AGE derivado de HEARSAY II.

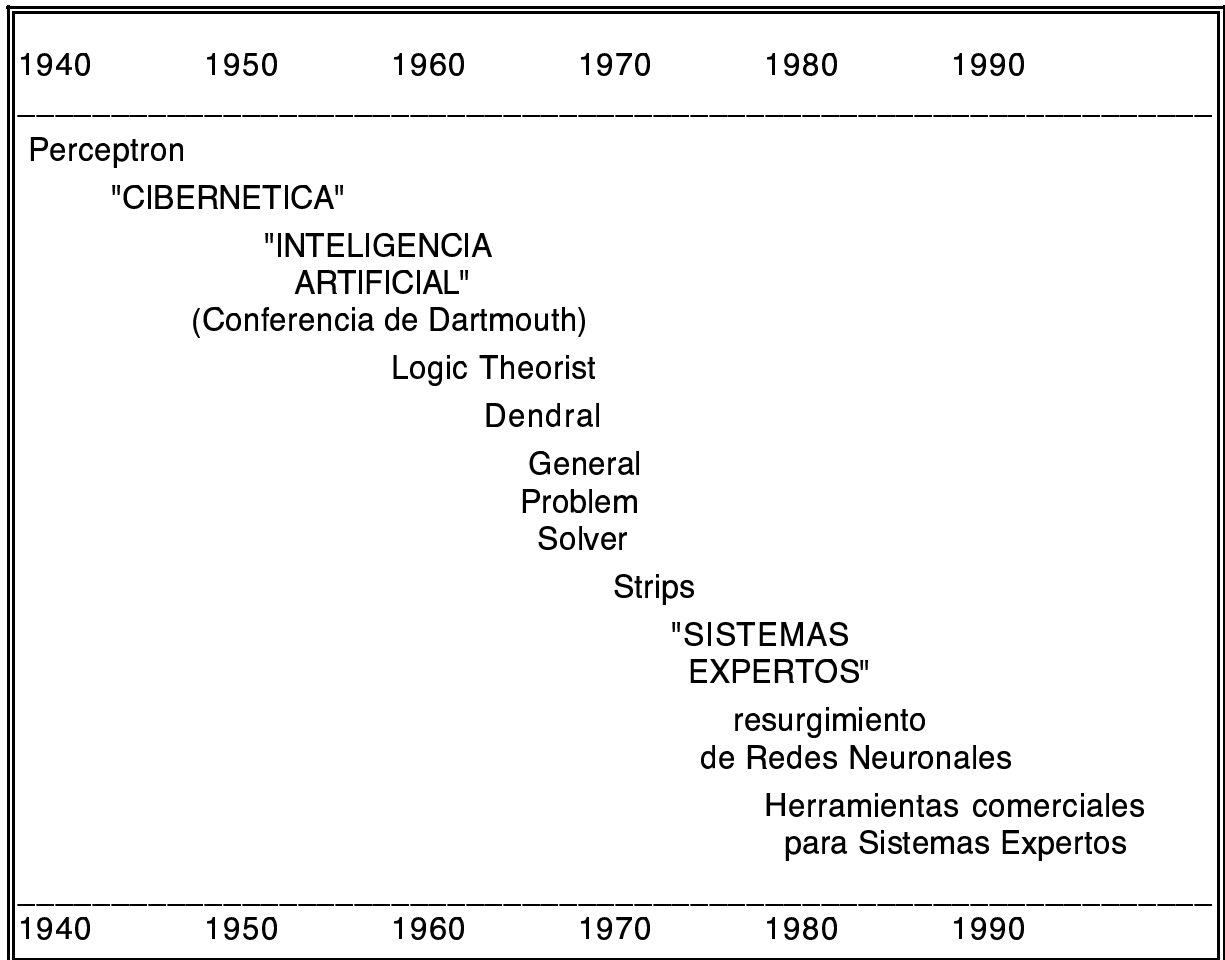
4- INDUSTRIALIZACION: Se expande hacia las empresas la utilización de la tecnología de SS.EE. y surgen compañías dedicadas a producir tanto aplicaciones como herramientas.

Los primeros desarrollos se centraron en EE.UU.A., en las universidades de Stanford, el Instituto de tecnología de Massachusetts (MIT), la Universidad Carnegie Mellon, y en el Instituto de investigación de Stanford (SRI International).

El anterior gráfico ilustra las el desarrollo histórico de los SS.EE. pioneros. De cada sistema se siguieron derivando otros. Aquí aparecen en rectángulos de esquinas redondeadas los lenguajes o herramientas de desarrollo ( inglés: "experts system shells" ) que también fueron "extraídos" de los primeros SS.EE., o sea herramientas que tuvieron su origen en un S. E. particular, al cual se le privaba de la B.C. para obtener un módulo de propósito más general.

1.4.1. EVOLUCION HACIA LOS SISTEMAS CON BASE DE CONOCIMIENTO

El siguiente cuadro representa la evolución de los eventos asociados con el desarrollo del concepto de "Sistema Experto" y de los SS.EE. "pioneros". Después del cuadro se dan algunos datos adicionales sobre estos eventos.



El "Perceptrón" fué un modelo formal de neurona, desarrollado por McCulloch y Pitts y presentado en 1943; en él se representa la actividad nerviosa como un fenómeno "todo o nada", que se puede calcular con una lógica de proposiciones. Se considera como el comienzo del desarrollo de las "Redes Neuronales Artificiales", disciplina que ha tenido un importante resurgimiento a fines del decenio 70 y comienzos del 80. Con Redes Neuronales Artificiales se pueden implementar sistemas que funcionen análogamente a un S.E, como se verá en el capítulo 10.

La **Cibernética** es una disciplina formulada en 1948 por el matemático Norbert Wiener, que estudia los fenómenos de comunicación y control, de manera general, aplicable a sistemas biológicos, organizacionales, sociales o a máquinas. Los principales conceptos que maneja son: Sistema, Información, Control, Retroalimentación y Estabilidad.

El nombre de **Inteligencia Artificial** fué lanzado por John McCarthy (desarrollador del lenguaje LISP) en el encuentro "Summer Research Project" realizado en Dartmouth College (Hanover, New Hampshire, EE.UU.A.) en 1956. Este encuentro sirvió como catalizador para los investigadores que estaban interesados en las posibilidades de la "inteligencia" de la máquina.

Por esta misma época, Newell, Simon y Shaw desarrollaron el "Logic Theorist", sistema capaz de probar teoremas de lógica matemática tomados de la obra "Principia Mathematica" de Whitehead y Russell.

"Dendral", un sistema para determinar estructuras moleculares de compuestos orgánicos, fué el primer S.E., desarrollado por Lindsay, Buchanan, Feigenbaum y Lederberg, desde 1965, en una época en que la mayoría de los investigadores no se había concentrado en la importancia del "conocimiento específico sobre un tema" para resolver un problema, sino que estaban centrados en los procesos de lógica y búsqueda, y en métodos de gran generalidad, pero de poca utilidad práctica, como el "General Problem Solver" (G. P. S.)

El "G.P.S." (Ernst y Newell, 1969) tenía como base la idea de un sólo esquema para muchas aplicaciones. Todo problema debía ser formulado como la búsqueda de unos "estados objetivo" (fines) en un "espacio de estados", con la posibilidad de aplicar "operadores" (medios) para pasar de un estado a otro. Este enfoque también se conoce como "análisis medios-fines" (inglés: "Means-Ends analysis").

El sistema "STRIPS" (Fikes y Nilsson, 1971) aplicaba la metodología del probador de teoremas a la solución de otros problemas.

Como se ha visto antes, con el ejemplo del programa de diagnóstico médico usando una metodología tradicional, es conveniente separar los conocimientos del mecanismo de inferencia (M. I.).

Paralelamente, también se llega a la conclusión de que los "conocimientos específicos sobre un dominio" son de vital importancia para la solución eficiente de un problema, pues, por ejemplo los métodos generales, que se basan en el Análisis Medios-Fines, y trabajan sobre un Espacio de Estados, deben estimar la "distancia" entre dos estados, pero resulta que para aplicar este principio general, en la práctica hay que tener conocimiento del dominio del problema, pues una distancia entre estados que pueda parecer corta en la representación, realmente puede implicar costos altos en el mundo real. Ejemplo: si tenemos una pila de 4 bloques sobre una superficie, representados por la cadena ABCD, la distancia entre ese estado y el estado ABDC puede ser corta, pero en la práctica no lo es si estas representaciones corresponden a los bloques enumerados desde el superior al inferior: no podemos simplemente intercambiar las posiciones de los dos bloques inferiores: debemos conocer que existe la ley de gravedad.

El éxito del DENDRAL y otros sistemas similares, hace que a finales de los años 70 se consolide como metodología y arquitectura definida, el concepto de "Sistema Experto".

#### 1.4.2. SISTEMA EXPERTOS PIONEROS

Entre los SS.EE. inicialmente desarrollados, se destacan los siguientes, cuya implementación permitió comenzar a depurar la metodología y las herramientas para este tipo de sistemas:

- DENDRAL Determinación de la estructura de moléculas de química orgánica, a partir de espectrografía de masas y otros datos.  
Lindsay, Buchanan, Feigenbaum, Lederberg ( Universidad de Stanford, 1965 )
- INTERNIST Para medicina interna  
Pople y otros ( 1975 )
- CASNET Ayuda para el diagnóstico y tratamiento de afecciones de glaucoma. Posee un modelo del desarrollo de la enfermedad.  
Weiss y otros ( 1976 )
- MYCIN Diagnóstico médico: Ayuda a determinar la identidad exacta de una infección de la sangre, y a prescribir los antibióticos apropiados.  
Edward H. Shortliffe y B. Buchanan (Universidad de Stanford, 1976 )
- PUFF Diagnóstico de infecciones pulmonares.  
Edward Feigenbaum ( 1977 )
- PROSPECTOR Prospección minera : establece hipótesis sobre la existencia de yacimientos minerales .  
Konolige ( SRI International, 1979 )
- MACSYMA Cálculo integral y diferencial. Desde 1965 se trabajó en antecesores de este S.E. como SAINT, SIN y MATHLAB.  
Martin y Fateman ( Massachusetts Institute of Technology, 1976 )
- R1, luego rebautizado XCON : Configuración de computadores Digital ( Ej: VAX 11 ) cumpliendo con las necesidades del cliente y sometido a determinadas restricciones.  
John McDermott ( Carnegie Mellon University para Digital Equipment Corp., 1979)

#### 1.5. BENEFICIOS DE LOS SS.EE. Y MOTIVACIONES PARA SU USO

El experto humano realiza actividades como las siguientes:

- 1- Reconoce y formular el problema
- 2- Resuelve el problema eficientemente
- 3- Está en capacidad de explicar la solución
- 4- Aprende de la experiencia
- 5- Reestructura el conocimiento
- 6- Estima cuando puede "romper las reglas" y lo hace
- 7- Pondera la importancia relativa de los factores considerados
- 8- Se "degrada gracilmente" = al salirse gradualmente de su dominio de conocimientos se va equivocando de manera gradual (gracil).

Aunque un sistema que emule a un experto debería realizar todas estas tareas, en la actualidad un S.E. sólo realiza algunas de estas de manera satisfactoria.

Las motivaciones para desarrollar los SS. EE. y aplicarlos son principalmente :

- 1- " El conocimiento tiene **poder organizador**" ( Edward Feigenbaum )
- 2- Los expertos son escasos y costosos.
- 3- Un S.E. permite mayor accesibilidad de la experiencia gracias a la posibilidad de duplicación y transferencia.  
Esto es importante, por ejemplo en una compañía con varias plantas dispersas y un solo experto. Otro caso es la posible transferencia de conocimientos y experiencia a zonas menos desarrolladas, que no cuentan con expertos locales.
- 4- El S.E. puede ahorrar tiempo al experto, para que este se dedique a los casos más difíciles que exceden la capacidad del S.E.
- 5- Los novatos se vuelven expertos de manera incremental.
- 6- La formación de nuevos expertos es lenta.
- 7- Muchos S.E. han exhibido una concordancia bastante aceptable entre sus conclusiones y las de un experto, en un alto porcentaje de los casos.
- 8- Un S.E. tiene conocimientos utilizables de manera inmediata, descentralizada y duradera.
- 9- El desarrollo de un S.E. es una oportunidad para recuperar, depurar, formalizar y conservar conocimientos y experiencia.
- 10- El razonamiento de un S.E. es visible para los usuarios.
- 11- Esa visibilidad hace que el S.E. sea utilizable para el entrenamiento de nuevo personal.
- 12- El principio de separar los conocimientos y el método lógico de solución facilita el mantenimiento, comparado con la alternativa de implementar un programa tradicional que mezcla esas dos componentes.
- 13- Un S.E. puede aumentar la productividad por varias razones:
  - Por ahorrar tiempo valioso del experto, como se explico en el punto 4.
  - Por ser más ágil que el humano, en especial cuando este debe consultar en grandes volúmenes de datos, que en el caso del S. E. podrían estar dentro del computador.
  - Por la accesibilidad y rapidez para atender, por ejemplo, diagnóstico de equipos, puede reducir pérdidas al reducir el tiempo fuera de servicio de un equipo.
- 14- Un S.E. puede tener funcionamiento consistente, ya que no presenta dificultades típicamente humanas como estar cansado, aburrido, enfermo, o en huelga; o pasar por alto alguna información.

## **1.6. PROBLEMAS Y LIMITACIONES DE LOS SS.EE.**

- 1- Estrechez del dominio de aplicación
- 2- Lenguajes limitados para expresar hechos y relaciones
- 3- Superficialidad de los conocimientos
- 4- Poco o nulo auto-conocimiento de su propio alcance y limitaciones.
- 5- Falla catastróficamente (no gradualmente) tan pronto nos apartamos de su campo de especialidad
- 6- La justificación de sus conclusiones generalmente se reduce a la enumeración de las reglas usadas



7- Dificultades de "imagen " para su introducción en las organizaciones :

- 7.1 - Extrañeza de los términos : "experto", "inteligencia artificial", etc. suenan a menudo demasiado pretensiosos y alejados de las preocupaciones cotidianas de una organización.
- 7.2 - Falta de adopción dentro del departamento de procesamiento de datos tradicional.
- 7.3 - Imagen " amenazante " : Si se percibe como sustituto de habilidades de los empleados, y no como una herramienta de apoyo y potenciación de esas habilidades.
- 7.4 - Imágen de " Solución en busca de un problema " : Si se trata de introducir comenzando por preguntarnos - En qué podríamos utilizar un Sistema Experto ? , en vez de comenzar por examinar los problemas que haya a la luz de todo el arsenal de técnicas que se tiene.

### 1.7. IMPACTO DE LOS SS.EE.

El hecho de que un S.E. tenga un desempeño de calidad uniforme, y que pueda ser igual o superior al de un experto humano en un alto porcentaje de los casos, al hacer juicios en un dominio limitado, puede tener grandes implicaciones sobre algunas profesiones u ocupaciones humanas, así como sobre las organizaciones.

Se está aplicando esta metodología en muy diversos campos, y a veces se trata de actividades de gran importancia estratégica y competitiva. Se estima que en algunos de estos casos las empresas no están interesadas en divulgar mucho sus técnicas o metodologías.

La gran potencialidad de los S. E. se fundamenta básicamente en su capacidad para automatizar nuevas aplicaciones que hasta ahora no había sido factible automatizar, y para agilizar las tomas de decisión sin que se sacrifique por esto la buena calidad de dichas decisiones.

El impacto de los S. E. en el mercado lo estima como significativo en gran cantidad de reportes como el libro Expert System Strategies de Paul Harmon, (1988) :

" Las grandes compañías en EE.UU.A. se han convencido de que la I.A., y en especial los Sistemas Expertos tienen potencial para mejorar significativamente la efectividad y la productividad. "

" Entre 1985 y 1987, el 80% de las 500 compañías más grandes en EE.UU.A. han explorado el uso de Sistemas Expertos. "

" Durante los años 90, la mayoría de las compañías grandes y medianas encontrarán necesario usar Sistema Experto simplemente para permanecer competitivas. "

Los Sistemas con Base de Conocimientos o Sistemas Expertos, definitivamente "llegaron para quedarse", y su presencia se volverá tan normal como lo son actualmente las Bases de Datos.

## 2. CARACTERIZACION FUNCIONAL DE LOS SISTEMAS EXPERTOS

### 2.1. CARACTERISTICAS OPERATIVAS DE UN S. E.

- 1- Los conocimientos residen en la Base de Conocimientos (B.C.).
- 2- El proceso de razonamiento lo implementa el Mecanismo de Inferencia (M.I.).
- 3- Resuelve problemas de su dominio restringido tan bien, o mejor, que un experto.
- 4- Razona utilizando reglas heurísticas que los expertos consideran eficaces.
- 5- Manipula descripciones y relaciones cualitativas y razona sobre ellas.
- 6- Funciona con datos inciertos y reglas imprecisas, usando algún método para determinar y manipular grados de credibilidad de datos y conclusiones.
- 7- Contempla múltiples hipótesis alternativas al atacar un problema.
- 8- Interroga al usuario en caso de requerir más datos o cuando encuentra conflictos en la información. En estos casos puede explicar con qué objetivo hizo la pregunta.
- 9- Si el usuario lo solicita, puede mostrar la cadena de razonamiento que lo condujo a la conclusión a que llegó.
- 10- Interactúa fácilmente con el usuario.
- 11- Es flexible para permitir la modificación y adición de conocimientos.

### 2.2. GRANDES ETAPAS DE UN SISTEMA EXPERTO

#### - DESARROLLO:

Incluye la construcción de la B.C. adquiriendo el conocimiento a partir de uno o más expertos, y de otras fuentes como documentos. Por lo general, en los sistemas prácticos se utiliza una "herramienta de desarrollo" (inglés "shell") que ya tiene las demás componentes, y por lo tanto el desarrollo se limita a la B.C.

#### - UTILIZACION:

Consiste, en general en una consulta. Una vez desarrollado, el S.E. se transfiere a los usuarios. Cuando estos desean recibir una recomendación, activan el S.E. el cual les solicita los hechos (datos) a cerca de la situación específica. El sistema decide que estrategias usar para aplicar las reglas de la B.C. El usuario debe poder solicitar al S.E. explicaciones a cerca del proceso de razonamiento que está aplicando.

Fuera de este tipo de S. E., orientado a la consulta, también existen otros que realizan el monitoreo y control de un sistema en tiempo real y lego reportan a un operario, o ejecutan acciones autonomamente.

#### - MANTENIMIENTO:

Los S.E. deben actualizarse para mantener y mejorar su desempeño. Este mantenimiento se refiere generalmente a cambios en la B. C.

### **2.3. CRITERIOS DE APLICABILIDAD DE LA TECNOLOGIA DE SS.EE.**

Para que un problema sea, en principio, solucionable con el paradigma de Sistema Experto, se debe cumplir lo siguiente :

- 1- Existe al menos un experto conocidos y dispuesto a colaborar en el desarrollo.
- 2- La capacidad del experto se puede enseñar a otra persona, o sea que es transferible.
- 3- En el dominio los expertos son significativamente mejores que los "amateurs" o novatos, por ser muy importantes los conocimientos aportados por la experiencia.
- 4- Cada problema a resolver le toma al experto entre varios minutos y varias horas.  
De no ser así, es indicio de que el problema posiblemente es o muy trivial o demasiado difícil.
- 5- Las técnicas de computación convencionales no son satisfactorias.
- 6- La tarea es principalmente cognoscitiva, y se desarrolla sobre una especialidad o dominio bien delimitado, relativamente pequeño.
- 7- La tarea no requiere habilidades físicas, sino razonamiento con conocimientos tanto formales como empíricos.
- 8- Hay datos y casos de prueba disponibles.
- 9- Los novatos se vuelven más eficaces y eficientes con la experiencia.
- 10- Un S.E. aportaría beneficios identificables, por ejemplo :
  - Por ganancias en eficiencia
  - Por la conveniencia de recopilar los conocimientos de la especialidad
  - Por la posibilidad de distribución geográfica de copias del sistema
- 11- La tarea no requiere "sentido común" ( recuérdese lo visto en el apartado 1.3 )

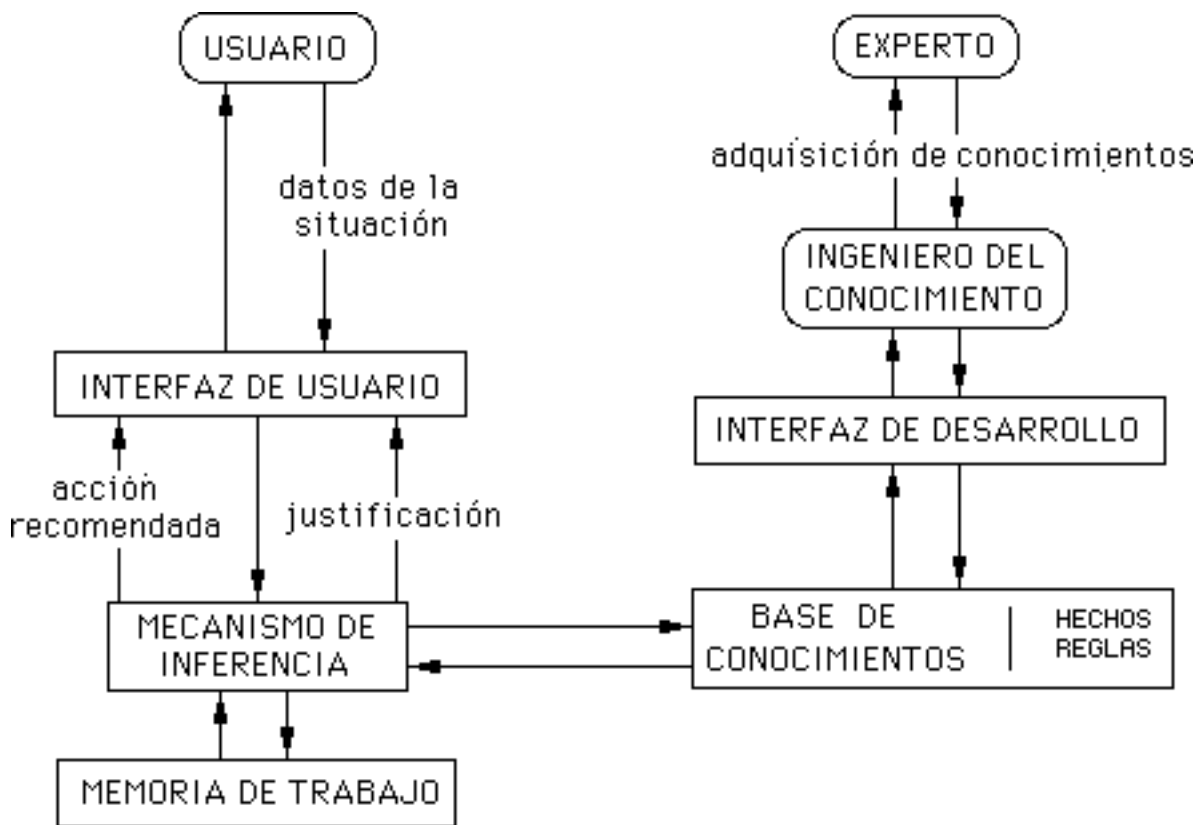
## **3. ELEMENTOS DE UN SISTEMA EXPERTO**

### **3.1. ARQUITECTURA BASICA DE UN S.E.**

La característica primordial de un S.E. es su capacidad de razonar. Todo el conocimiento está almacenado en una Base de Conocimientos, y el computador está programado de manera que puede hacer inferencias a partir de ese conocimiento. El razonamiento lo desarrolla una componente denominada Mecanismo de Inferencia, el cual incluye procedimientos que manipulan datos simbólicos.

Un S.E. tiene además otras componentes:

- Memoria de trabajo
- Interfaz con el usuario
- Interfaz con el desarrollador



Adicionalmente, es deseable que el S.E. posea:

- Subsistema Justificador (explica su línea de razonamiento).
- Interfaz con otros sistemas (aplicaciones, bases de datos)
- Subsistema de aprendizaje automático.

### 3.1.2. BASE DE CONOCIMIENTOS

La información en la B.C es todo lo necesario para comprender, formular y resolver el problema. Incluye dos elementos básicos:

- **HECHOS** : situación del problema y teoría del dominio de aplicación. Comprende la representación de la existencia de entidades y relaciones entre estas.

Ejemplo :

- Nivel de inversión = alto
- Posición social = buena
- Marco jurídico = estable
- Proteccionismo = creciente
- Red comercial = adecuada

- **REGLAS**, en gran parte heurísticas, que dirigen la utilización del conocimiento para resolver problemas. Las reglas heurísticas ( o simplemente heurísticas ) son conocimientos empíricos.

Ejemplos:

Regla1 ( Regla del tipo "situación-acción" ) :

**Si**  
 La lámpara roja a la izquierda del tablero está encendida,  
**y**  
 La temperatura del agua pasa de 90 grados,  
**entonces**  
 compruebe el nivel del aceite.

Regla2 ( Regla de tipo deductivo ) :

**Si**  
 la administración de la empresa está poco motivada,  
**y**  
 la imagen social es pobre,  
**y**  
 la tasa de sindicalización es pobre,  
**entonces**  
 la motivación del personal es pobre.

### 3.1.3. MECANISMO DE INFERENCIA

El "cerebro" del S.E. es el M. I. , También conocido como: "motor de inferencia", "estructura de control" o "interpretador de reglas". Es esencialmente un programa que proporciona una metodología para razonar con la información en la B.C. y la Memoria de Trabajo, hasta llegar a conclusiones.

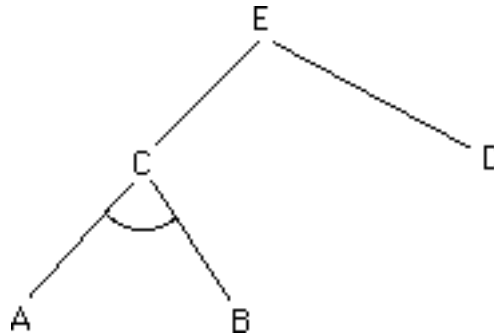
Existen diferentes esquemas para organizar los pasos de razonamiento al buscar la solución a un problema:

- En el esquema "**hacia atrás**" se razona desde un objetivo o hipótesis hacia los datos. Este "modus ponens" es una estrategia muy utilizada en sistemas para diagnóstico.
- En el esquema de razonamiento "**hacia adelante**" , los pasos de inferencia se aplican a partir de los datos hacia un objetivo, como ocurre, por ejemplo en el sistema R1/XCON (mencionado en 1.4.2) .
- En un esquema de razonamiento "**oportunistico**" se aplican piezas del conocimiento, bien sea "hacia atrás " o "hacia adelante" en el momento más oportuno. Este se utiliza mejor en los sistemas con tablero .

El proceso de inferencia se puede visualizar representandolo en árboles en los cuales los nodos representan hechos, y en los cuales conjunción "Y" se representa por medio de un arco circular entre las premisas :

Por ejemplo, las dos reglas : 1 - Si A y B entonces C  
 2 - Si C o D entonces E

se pueden representar por el árbol :



sin embargo, cuando la cantidad de reglas aumenta esta representación deja de ser práctica .

### 3.1.4. MEMORIA DE TRABAJO

Es un área de memoria ( inglés: " workspace " ) reservada para la descripción del problema actual, tal como lo especifican los datos de entrada; también se usa para registrar resultados intermedios. Conserva hipótesis y decisiones intermedias de tres tipos:

- PLAN: Cómo atacar el problema.
- AGENDA: Acciones potenciales que esperan ejecución.
- SOLUCION: Hipótesis candidatas y cursos de acción alternativos que el sistema ha generado hasta el momento.

La memoria de trabajo también se llama "Tablero", "Pizarra" o "Pizarrón" ( inglés: "Blackboard" ), pero se utiliza este término, especialmente cuando el sistema completo se compone de varios módulos, siendo cada uno un S.E. especialista en determinado nivel de detalle o de descripción del problema ( sección 5.5.4 ) . En estos casos se habla de "Arquitecturas con Tablero", y cada S.E. especialista se denomina "Fuente de Conocimiento" ( inglés: "Knowledge Source" ).

### 3.1.5. INTERFACES

Un S.E. puede tener interfaces de varios tipos:

#### - Interfaz con el desarrollador

El S.E. debe poseer una manera de interactuar con el usuario que a este le resulte cómoda, y que en su lenguaje y gráficos sea apropiada al dominio del problema sobre el que versa el sistema experto

#### - Interfaz con el usuario

#### - Interfaz con otros sistemas : (Bases de Datos, aplicaciones, hardware ( ej : sensores, etc.) )

### 3.1.6. JUSTIFICADOR

Idealmente un S. E. debe tener un subsistema que pueda explicar al menos el primero de los siguientes interrogantes :

- 1- Cómo llegó a determinada conclusión ? .
- 2- Para qué solicita determinada información ? .
- 3- Porqué no llegó a otra determinada conclusión ? .
- 4- Qué falta determinar antes de poder llegar a una conclusión ? .

En la práctica esto se logra en mayor o menor grado, siendo la más importante la primera de ellas.

La capacidad de hacer un seguimiento de la causas (hechos y reglas) responsables de una conclusión, es crucial, tanto durante la transferencia de conocimientos, como durante la solución de los problemas .

Esta capacidad del sistema es primordial para que este sea confiable desde el punto de vista del experto, del usuario y del ingeniero del conocimiento .

### 3.1.7. SUBSISTEMA DE APRENDIZAJE

Los expertos pueden analizar su propio desempeño, aprender más con las nuevas experiencias, y aumentar su eficacia para los futuros problemas. Similarmente, tal evaluación y perfeccionamiento es deseable en los SS.EE. de manera que el programa sea capaz de analizar las razones de sus éxitos y fracasos para perfeccionar la B.C. y ser más eficaz y efectivo en el futuro. En la actualidad, esta componente, es escasa en los sistemas comerciales, pero es un interesante campo de investigación en sistemas experimentales.

Entre las herramientas para desarrollo de S.E. que tienen capacidad de inducir reglas, a partir de casos de ejemplo, podemos mencionar : Expert Ease, 1st Class, RuleMaster y TIMM .

## 4. CICLO DE VIDA DE UN SISTEMA EXPERTO

### 1- Análisis de la factibilidad de la aplicación.

Análisis del DOMINIO y de la TAREA, teniendo como guía, tanto los criterios de aplicabilidad vistos en la sección 2.3, como las tipos de aplicación (vistos en 1.2) que históricamente han resultado adecuadas para el paradigma de S.E. Se debe dar una primera respuesta, así sea aproximada, a las siguientes preguntas:

- Es realizable el sistema ?
- En qué medida mejorará la situación existente ?.
- Quiénes serán los encargados de realizarlo ?.
- Que presupuesto estimado se necesita ?.

- Qué tiempo tardará en finalizar ?.
- Qué medios se utilizarán ? .

## 2- Formulación de requisitos

## 3- Diseño conceptual.

Definir la estructura del sistema y la manera como realizará la tarea.

## 4- Escogencia de las fuentes de conocimiento: experto, documentos, etc.

## 5- Conformación del equipo humano de desarrollo.

Fuera del experto, estará(n) el (los) "ingenieros" del conocimiento, como actor(es) centrales . Pero, aparte del I.C. y el experto, se debe tener en cuenta que otras personas de la organización deben colaborar para la dedicación de recursos, la implantación exitosa y aceptación del S.E. :

- La administración.
- Los usuarios finales.
- El "padrino", o "protector" ( algún superior que apoye el desarrollo y pueda mediar ante la alta dirección para agilizar tramites, por ejemplo)
- Los aprendices de "ingeniería del conocimiento" ( personas que durante el proceso de desarrollo de un S.E. lo están siguiendo, para capacitarse en la metodología.

( En el numeral 8.1 se tratarán estos roles en mayor detalle )

## 6- Selección de herramienta de desarrollo y equipo de cómputo.

## 7- Adquisición y Representación del conocimiento.

Obtener el conocimiento y formalizarlo., Expresándolo en las estructuras y el lenguaje soportados por la herramienta de desarrollo. Esta es la etapa central del desarrollo del S.E. y presenta dificultades especiales.

## 8- Verificación del prototipo :

Asegurarse de que la B.C. es completa, consistente y correcta en cuanto a SINTAXIS.

## 9- Validación del prototipo :

Asegurarse de que el sistema hace lo que se supone que debe hacer, cumpliendo las especificaciones. o sea de que su SEMANTICA es correcta.

## 10- Corridas de casos de prueba:

Asegurarse de que el funcionamiento entrada-salida emula bien al experto. Uso en paralelo con el "sistema" existente ( experto )

## 11- Entrega a los usuarios .

## 12- Utilización o explotación.

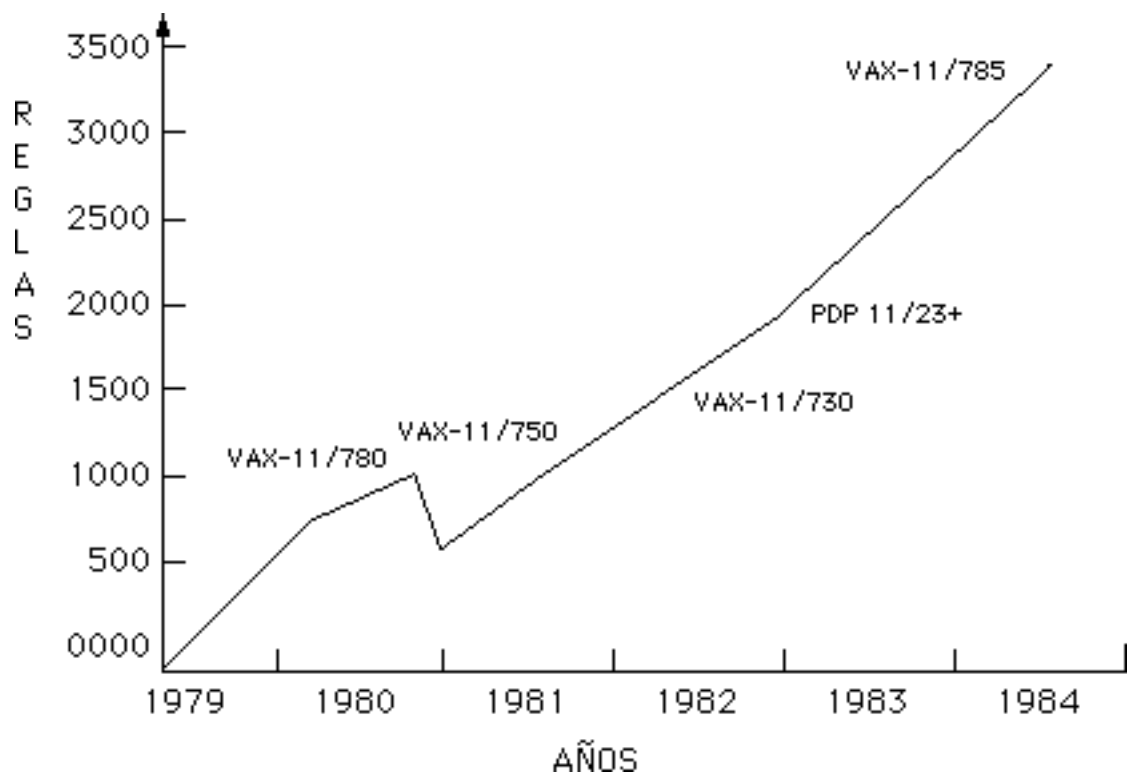
## 13- Mantenimiento, actualizaciones.

- Adaptación de interfaces de usuario.
- Adaptación del sistema a otros ambientes de hardware y software.



- Adaptar el sistema a nuevos requisitos de los usuarios.
- Corrección de errores descubiertos durante la operación.
- Mejoras al desempeño.
- Actualizaciones a la B. C. , por ejemplo :
  - Adición de nuevas reglas, incluyendo algunas para cubrir casos únicos y excepciones .
  - Modificaciones a las reglas, para reflejar cambios en las condiciones del dominio, o para corregir o mejorar las reglas.
  - Supresión de reglas que se han demostrado irrelevantes.

El siguiente gráfico muestra, por ejemplo, como varió la cantidad de reglas que tenía el sistema R1 / XCON , durante los primeros años de su funcionamiento. No obstante la tendencia general al incremento en el número de reglas y en los modelos de computador que el sistema puede configurar, se presento disminución del número de reglas en cierto período.



Obviamente, el ciclo de vida real de un sistema no es tan "lineal" como lo hace aparecer este listado "oficial", tanto durante las pruebas, como durante el mantenimiento, a menudo hay que regresar a etapas anteriores de especificaciones, diseño e implementación, para replantear o rediseñar el sistema.

Además, **LA DOCUMENTACION** correspondiente debe desarrollarse en paralelo con el S.E.

Cuando se estudie , en el capítulo 8 el proceso de desarrollo, se profundizará en las etapas principales de este "ciclo de vida".

## 5. EL CONOCIMIENTO Y SU REPRESENTACION

### 5.1. EL CONOCIMIENTO Y SU RELACION CON LOS DATOS

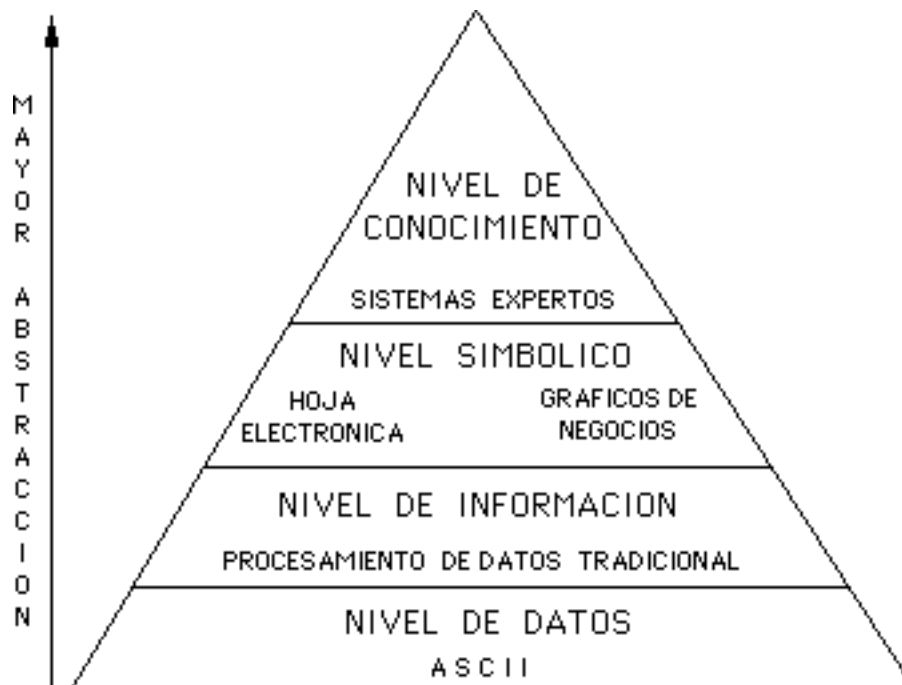
La definición de "conocimiento" no es única para diversos investigadores, y también su relación con los "datos" no está muy bien definida. Para nuestros fines podemos tomar:

" Conocimiento es información acerca del mundo que le permite al experto juzgar y tomar decisiones".

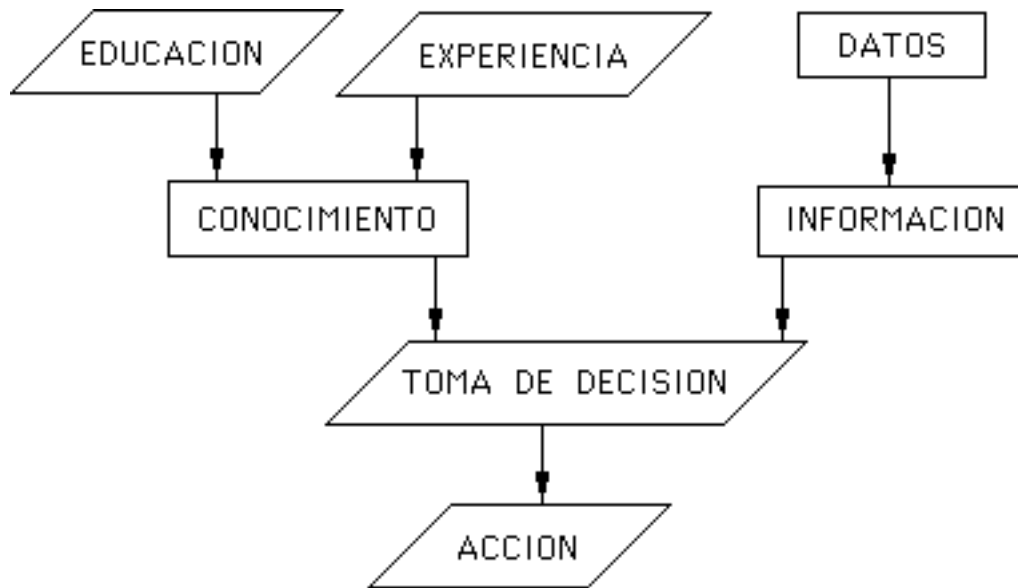
Las capacidades que originan el alto nivel de desempeño de un experto, incluyen : conocimiento extenso sobre el dominio, reglas heurísticas que simplifican y mejoran los métodos para atacar un problema, metaconocimiento ( sección 5.4 ) , y formas compiladas de comportamiento que aportan gran economía de esfuerzo.

Sin embargo, hay que tener en cuenta que el conocimiento es a menudo inexacto, incompleto y mal especificado.

El siguiente diagrama, propuesto por R.G. Bowerman y D.E. Glover, trata de clasificar los sistemas computacionales, según el nivel de abstracción



El siguiente diagrama, propuesto por Gio Wiederhol, muestra las funciones complementarias del conocimiento y los datos :



### BASES DE CONOCIMIENTO vs BASES DE DATOS

Los datos reflejan el estado actual de mundo, al nivel de ejemplares, e incluye muchos detalles de "bajo nivel". El conocimiento puede ser complejo, pero trabaja con generalizaciones, se refiere a tipos de entidades más que a ejemplares individuales.

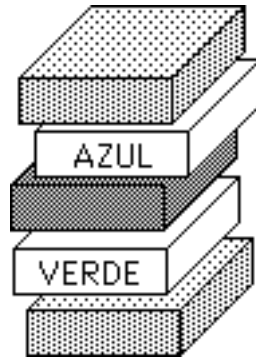
La complejidad de la clase de cosas que se desea registrar en una B.C. es típicamente mayor que la que se almacena en una B.D. :

- En una B.C. hay que manejar información incompleta, en una B.D. se pretende que existan todos los campos.
- Las B.C. deben expresar relaciones entre clases genéricas.
- Las B.D. no trabajan con lo que significan o implican sus datos. Las B.C. deben trabajar también respecto a las consecuencias lógicas.
- Muchos S.E. poseen más relaciones que ejemplares ; en las B.D. ocurre lo contrario.

Algunas de estas diferencias no son absolutas sino de grado, pero de todas maneras, las preocupaciones centrales de un DBMS han sido: volumen de datos, organización, seguridad, compartición y distribución, y al Sistema Administrador de la Base de Conocimientos ( inglés: "Knowledge-Base Management System: KBMS " ) le interesan la interpretación y la inferencia.

Hallar lo implicado por un hecho, en general no es un problema trivial, por ejemplo, si respecto a una pila de bloques de colores, sabemos que :

- Hay un bloque azul encima de otro bloque que está sobre un bloque verde.



no es obvio que el siguiente hecho sea implicado por el anterior:

- Hay un bloque azul sobre uno que no es azul

( Solución : para resolver esto podemos considerar las posibilidades : AZUL o NO AZUL que tiene el bloque intermedio entre el que sabemos que es azul y el que sabemos que es verde ).

## 5.2 COMPONENTES DEL CONOCIMIENTO:

- DENOMINACION: Capacidad de referenciar, simbólicamente un objeto.
- DESCRIPCION : Capacidad de describir las propiedades principales que caracterizan el objeto.
- ORGANIZACION : Capacidad de organizar los objetos en categorías conceptuales o clases, por ejemplo en jerarquías.
- RESTRICCIONES: Capacidad de conocer los límites en los rangos de valores, relaciones y estructuras organizacionales de los objetos. Estas restricciones pueden ser absolutas, o depender de los valores de otros atributos.
- OTRAS RELACIONES: Capacidad de conocer las relaciones del objeto con otros.

### DENOMINACION :

Para representar el conocimiento, debemos ser capaces de referirnos a los objetos por un nombre o identificación simbólica. Por ejemplo: "Coltejer", "petróleo", etc. Los nombres que asignamos deben ser unívocos, de manera que sepamos exactamente a cual objeto nos estamos refiriendo. Si más de una persona se llama "Juan Pérez" , entonces requerimos una identificación adicional para determinar a un Juan Pérez particular, por ejemplo:

- Añadiendo más detalles al nombre: "Juan C. Pérez"
- Asociando un código único, por ejemplo la cédula.
- Asociando otras propiedades: "el Juan Pérez que vive en ... .."

El nombre de un objeto es un símbolo que puede "reemplazar" al objeto real. Aunque para nosotros es una operación trivial, es un paso básico en el conocimiento y en poder razonar sobre los objetos. Según experimentos del desarrollo de los niños, antes de abstraer el nombre como representante suficiente de un objeto, comprendemos los objetos asociados a sus propiedades funcionales. De esto se saca una lección útil: Se recomienda comprender el concepto y su funcionalidad a un nivel superior antes de tratar de bautizarlo a un nivel inferior.

**DESCRIPCION :**

La descripción de un objeto se puede hacer por medio de su relación con otros objetos, y/o de la relación entre sus componentes. Obviamente, para casi todos los objetos hay una gran cantidad de propiedades que podrían describirlos. Un objeto complejo, como una persona, tendrá una gran cantidad de propiedades, como características físicas, edad, experiencia, ocupación, etc...

Por ejemplo:

- Juan: tiene 25 años de edad, tiene una estatura de 1.70 m., ha sufrido de alergias, tiene fiebre y ha desempeñado diferentes trabajos.

Las propiedades que describen el objeto dependen de la aplicación que daremos al sistema: Un sistema para diagnóstico médico se enfocará mucho en propiedades físicas, mientras que un sistema para selección de personal se enfocará más en la capacitación, calificaciones, experiencia e historia de empleo.

Parte de la habilidad del I.C. para describir un objeto para un S.E. consiste en decidir correctamente qué debe conocer el sistema acerca del objeto para poder realizar su razonamiento.

**ORGANIZACION :**

Debemos conocer la clasificación u organización de los objetos en clases o categorías conceptuales. Una manera posible es describir algunos objetos como subclases de una clase más general; por ejemplo, un "automovil" es un tipo de "vehículo".

A menudo se usa la analogía de "padre-hijo" para capturar las característica esencial de esas jerarquias conceptuales, así: "vehículo" es es el concepto padre de "automóvil", el cual a su vez es el concepto padre de " Ford 87".

El beneficio más importante de organizar los objetos en categorías es que esto hace posible "saber donde mirar" y hace eficiente las búsquedas.

**RESTRICCIONES:**

Las restricciones se pueden utilizar para:

- Determinar la posible invalidez de un conocimiento ( si está fuera de rango ).
- Inferir información que no está disponible directamente.
- Regularizar el acceso a la información.

Durante el razonamiento, las restricciones sirven para enfocar el proceso, restringiendo los atributos que se deben enfocar en determinado momento.

**OTRAS RELACIONES:**

Tanto la DESCRIPCION, como la ORGANIZACION y las RESTRICCIONES se basan en las relaciones fundamentales que tiene un objeto; pero además de esas, debemos escoger las otras relaciones entre objetos a representar dentro del sistema. El número de entidades involucradas en el sistema, depende del nivel de análisis y de la profundidad del conocimiento utilizado.

En general, las relaciones representan un área donde la REPRESENTACION DEL CONOCIMIENTO se funde con la INFERENCIA : algunas relaciones, como por ejemplo los parentescos familiares se expresan de manera natural como organización del conocimiento, pero otras se expresan mejor como procedimientos que involucran inferencia.

A veces hay confusión entre las propiedades de un objeto y sus relaciones con otros, por ejemplo: el hecho de que Juan es un "jefe", puede considerarse como una propiedad de Juan, o como una relación entre Juan y cada uno de sus subordinados.

Las relaciones actúan como enlaces entre objetos, por ejemplo:

- Las relaciones de parentesco : abuelo, padre, etc...
- Relaciones entre: tasas de interés, inflación, y precio de inmuebles.
- Relación entre una sustancia y su contenedor, que puede originar peligro.

### 5.3. CLASIFICACIONES DE CONOCIMIENTO

Según su disponibilidad pública, los conocimientos se pueden clasificar en:

#### 1 - Conocimiento Público o Documentado:

Conocimientos que están formulados explícitamente en algún medio (libros, revistas, manuales, bases de datos, etc.) o que se pueden aprender recibiendo alguna instrucción. Este constituye una especie de "Conocimiento Público", porque, al menos en principio, está disponible para quien lo desee.

#### 2 - Conocimiento Privado:

Aquel que no está explícitamente formulado en ningún medio accesible, ni está normalmente disponible a partir de instrucción. Este conocimiento lo adquiere un experto, precisamente a través de su experiencia personal. Son conocimientos empíricos. Este tipo de conocimiento es el más valioso que debe tener un S.E., porque es el que lo asemeja en algo al verdadero "experto" humano. ( Es el conocimiento que se denomina en inglés "Expertise", que se adquiere a través de la experiencia "experience" ).

Según su relación con la acción, el conocimiento también se puede clasificar en:

- 1- Declarativo o factual.
- 2- Procedimental.

Según la profundidad de comprensión que se tenga de los fenómenos y sus relaciones causales, el conocimiento se puede clasificar en:

- 1- Conocimiento superficial.
- 2- Conocimiento profundo.

Los conocimientos representados en el S.E., según lo estén en la Base de Hechos, o en la Base de Reglas, o en el controlador de la estrategia se clasifican en :

- 1- Conocimiento asertivo (el de la Base de Hechos, ej: impuesto A = 30 % )
- 2- Conocimiento operativo ( el de la Base de Reglas )
- 3- Metaconocimiento ( el de la estrategia de control o metarreglas )

Los conocimientos dados por el estudio y la experiencia sobre determinado dominio, incluyen : Hechos , Teorías , Reglas que operan en el dominio , Estrategias y reglas heurísticas sobre que hacer en cada situación del problema

### 5.4. METACONOCIMIENTO

El Metaconocimiento consiste en el conocimiento de estrategias sobre como utilizar el conocimiento sobre un dominio de aplicación. En el caso en que este metaconocimiento esté representado por medio de unas reglas, estas se denominan meta-reglas : Son reglas a cerca de las reglas.

En un S.E., el metaconocimiento puede guiar al sistema para priorizar y seleccionar las reglas a aplicar, resolver conflictos en caso de aplicabilidad de varias reglas, y ayudar a detectar errores durante la introducción de nuevos conocimientos.

## 5.5. TECNICAS DE REPRESENTACION DE CONOCIMIENTOS

Para que un sistema de software utilice conocimientos relativos a un dominio, debe contar con una forma de representar dichos conocimientos. Existen tres cualidades importantes respecto a un lenguaje o estructura para representación de conocimientos en el caso de los SS.EE. :

- EXPRESIVIDAD : Puede expresar de manera efectiva el conocimiento del experto ?
- COMPRENSIBILIDAD : Puede el experto conocer que s"sabe" el sistema ?
- ACCESIBILIDAD : Puede el sistema utilizar y aprovechar bien la información que le ha sido dada ?

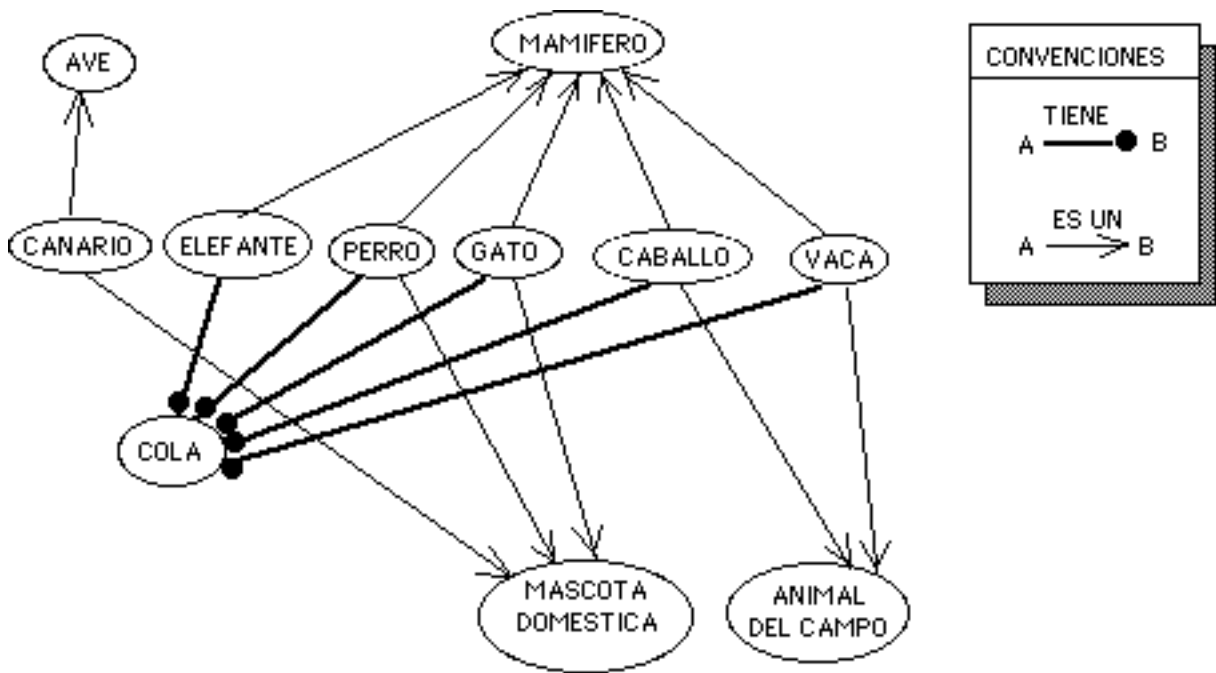
La experiencia hasta el momento ha demostrado que ninguno de los lenguajes de representación de conocimientos todos esas cualidades en alto grado . Los primeros intentos para construir sistemas inteligentes utilizaron el cálculo de predicados de primer orden como lenguaje de representación. El cálculo de predicados era atractivo por su poder expresivo de carater general y su semántica bien definida . Sinembargo, dada granularidad de sus estructuras, y el hecho de carecer de facilidades para construir estructuras más complejas, se dificulta la utilización en ciertos dominios, así como la comprensión del conocimiento expresado en él . Esas fificultades motivaron el desarrollo de "Redes Semánticas" , y posteriormente de representaciones orientadas a "objetos" , como los MARCOS (inglés: "Frames" ) .

### 5.5.1. REDES SEMANTICAS

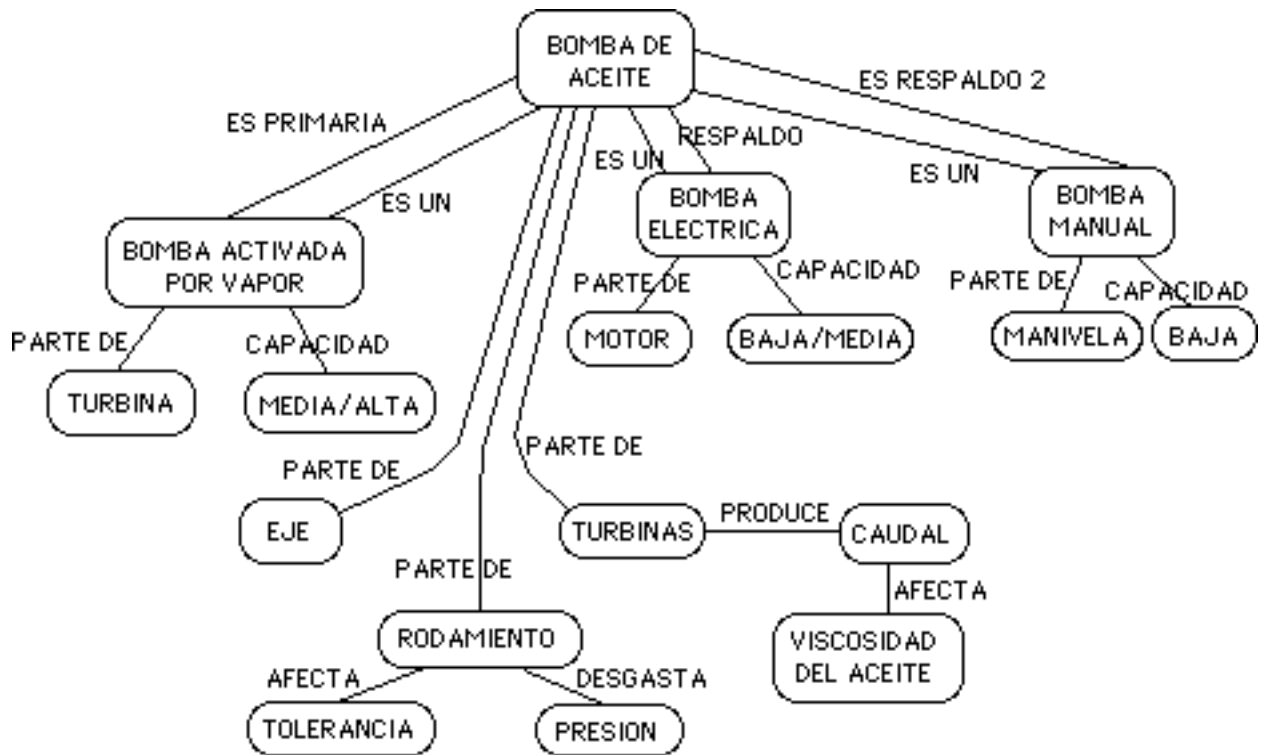
Las redes son una estructura natural y eficiente para representar ciertos conocimientos. Están compuestas por nodos y enlaces o arcos. Los nodos representan hechos, objetos físicos o intangibles, o situaciones; mientras los enlaces definen las relaciones entre los hechos.

Aunque estas redes tienen muchos precursores dentro de la investigación en I.A. , el primero que las propuso como estructuras con un tratamiento formal fué M. Qillian en 1968. Las redes semánticas han sido muy utilizadas en en I. A., en especial en trabajos que tienen que ver con la comprensión de lenguajes naturales, donde estas se crean como estructuras pre-existentes en el sistema, contra las cuales se pueden comparar entradas de texto, y a las cuales se puede agregar nuevo conocimiento.

Un ejemplo fundamental de red semántica es aquel en el cual se representa la pertenencia de un objeto a una o más clases por medio del enlace ES UN(A) , y las componentes o propiedades del objeto por medio del enlace TIENE , o en sentido inverso: ES PARTE DE, por ejemplo :



Las redes semánticas resultan muy naturales para representar pues taxonomías (clasificaciones) , composición de un objeto, y relaciones causales (= causa - efecto ) entre objetos .



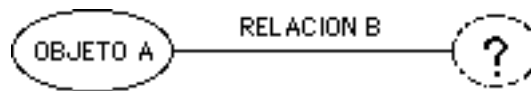
Las redes semánticas se han utilizado en sistemas expertos como PROSPECTOR e INTERNIST, aunque al parecer ha disminuido su utilización.

FRAGMENTO DE UNA TAXONOMIA UTILIZADA EN PROSPECTOR





Cuando un sistema trabaja con redes semánticas, el proceso de responder preguntas se basa en la comparación o aparejamiento de patrones ( inglés: "pattern matching" ) . en este caso el patrón a comparar será una subred, por ejemplo :



el sistema compara esto con la red existente, para hallar, por ejemplo en este caso, todos los elementos que tienen la relación B con el objeto A .

Fuera de este aparejamiento , realmente el significado de una red semántica, se establece con los procedimientos que "interpretan" a los enlaces. Cada tipo de enlace tiene propiedades diferentes, ( por ejemplo: algunos son "transitivos", como "ES UN", otros no lo son ) y requiere una interpretación diferente.

En cuanto a la representación interna, se la red semántica se implementan en lenguajes que admitan apuntadores (pointers) , una manera de representación es hacer corresponder a cada nodo de la red un registro (inglés"record") o estructura, y a cada relación un apuntador. Los varios tipos de relación que puede tener un nodo se pueden representar por medio de una lista de celdas enlazadas ( "linked list" ) a la manera de las listas del lenguaje LISP.

Aunque la herramienta de desarrollo que utilizemos no trabaje con redes semánticas, de todas maneras este modelo muchas veces es útil para comenzar a analizar el problema y aclarar conceptos y relaciones dentro del dominio que nos interese. Su aplicación principal es para representar las taxonomías y estructura de los objetos.

### 5.5.2. MARCOS

Un Marco (inglés: "frame" ) proporciona una representación estructurada de un objeto o clase de objetos, por ejemplo, un marco puede representar un "automovil", y otro una "clase" de automóviles .

El marco es una estructura de datos , propuesta por Marvin Minsky en 1974, que contiene toda la información que nos interesa acerca de un objeto, organizada de manera predefinida. El marco se compone de campos (inglés: "slots" ) . Por lo general cada campo corresponde a un atributo y tienen valores correspondientes a ese atributo, pero algunos campos pueden contener: valores por defecto, información sobre como utilizar el marco, o información sobre que hacer si ocurre determinada situación.

Ejemplo de un marco :

|                    |  |
|--------------------|--|
| NOMBRE:            | Avión  |
| TIPO:              | <b>rango</b> (combate, transporte, entrenamiento, bombardero, ligero, espía, carga ) |
| FABRICANTE:        | <b>rango</b> (McDonnell-Douglas, Boeing, . . . )                                     |
| PESO VACIO:        | <b>rango</b> ( 227 Kg a 113400 Kg)   |
| PESO LLENO:        | <b>rango</b> ( 340 Kg a 226800 Kg)<br><b>si_necesario</b> (1.6 x PESO VACIO)         |
| RANGO DE CRUCERO : | <b>si_necesario</b> (ver tabla de RANGO DE CRUCERO según TIPO y PESO LLENO)          |
| TRIPULACION:       | <b>rango</b> ( 1 a 3 )<br><b>por_defecto</b> 2                                       |

Los marcos proporcionan un método para combinar declaraciones y procedimientos dentro de un único ambiente de representación del conocimiento. El principio básico de los marcos es el empaquetamiento tanto de datos como procedimientos en estructuras de conocimiento.

En un lenguaje o herramienta que proporcione marcos, hay manera de organizar conjuntos de marcos en taxonomías. Esto permite al diseñador de la B.C. describir cada clase como una especialización (subclase) de otras clases más genéricas. Entonces, por ejemplo la clase **automovil** se puede describir como la clase **vehículo** más un conjunto de propiedades que los distingue de otras clases de vehículos. O sea que los marcos se pueden organizar en jerarquías y redes con la facultad de "heredar" información, para extraer propiedades que un concepto de nivel inferior comparte con una clase (superior) de conceptos.

Además, los marcos se pueden enlazar con reglas, haciendo posible que se activen predicados cuando se almacena o se recupera información.

Haciendo referencia a los componentes del conocimiento vistos en la sección 5.2 (DENOMINACION, DESCRIPCION , ORGANIZACION, RESTRICCIONES , OTRAS RELACIONES ) , en un marco tenemos :

- Denominación : Se asigna un nombre único a cada marco.
- Descripción: El cuerpo del marco se compone de campos que normalmente conservan valores de atributos que describen el objeto representado por el marco.
- Organización: Cada marco normalmente tiene enlaces desde otros que representan conceptos más generales, o hacia otros que representan conceptos más particulares.
- Restricciones : Algunos campos del marco pueden establecer restricciones en los valores que puede tomar un atributo. Además algunos campos pueden tener PROCEDIMIENTOS LIGADOS (inglés : "Attached Procedures" ( como por ejemplo : "si\_necesario ")
- Otras Relaciones : El valor de un campo puede ser otro marco. Adicionalmente los marcos se pueden relacionar por medio de reglas

Para almacenar información en un marco ya definido, usamos algún tipo de asignación, y para recuperar información, los enlaces entre los marcos permiten buscarla através de marcos intermedios, por ejemplo, sean los marcos:

MARCO : Juan Pérez  
PADRE : Estudiante

MARCO : María Rodríguez  
PADRE : Profesor

Matemáticas

PROFESOR : María Rodríguez

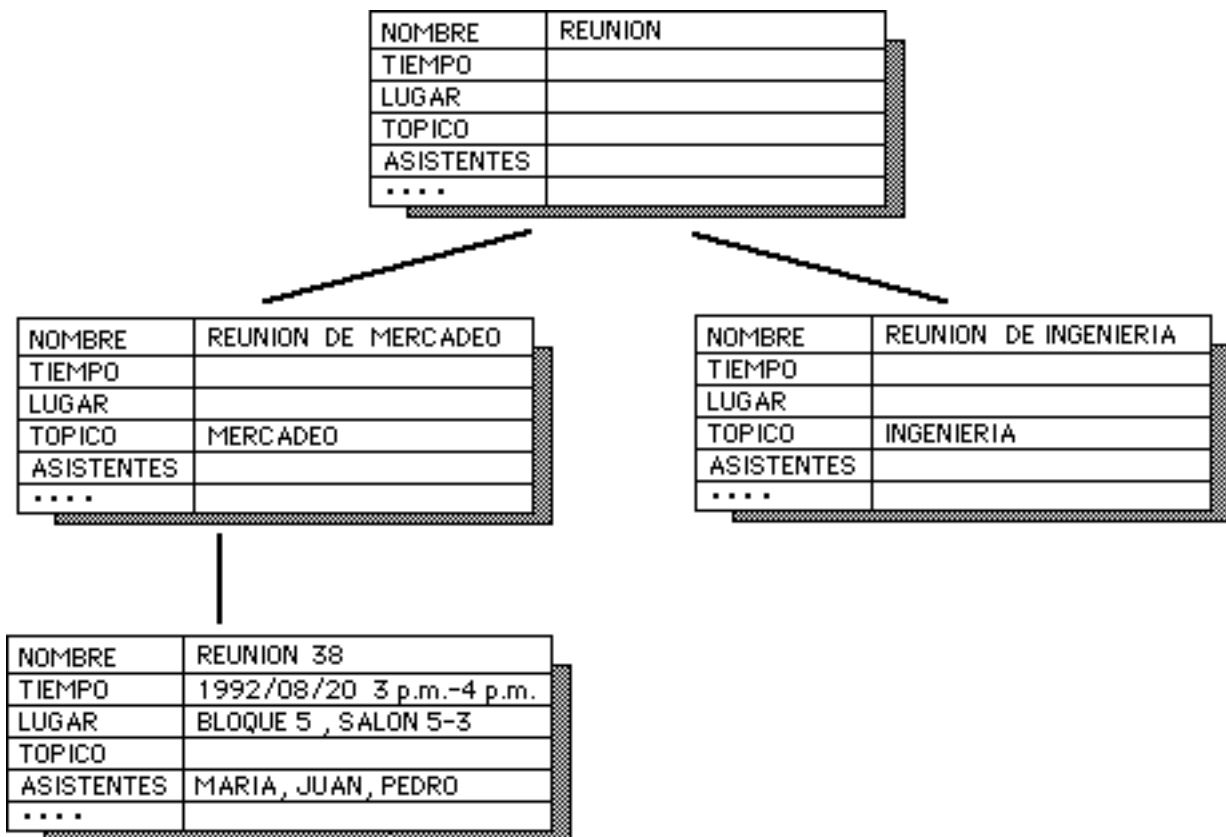
DEPARTAMENTO:

TELEFONO : 1234567

OFICINA : 321 E  
TELEFONO : 8901234

Podremos : - asignar : (teléfono de Juan Pérez ) := 1235567  
 - verificar (if) : (teléfono de María Rodríguez) = 8901234  
 lo cual dará "VERDADERO"  
 - recuperar : (teléfono de Juan Pérez) lo cual dará 1235567  
 o también : (teléfono de (profesor de Juan Pérez) ) lo cual dará  
 8901234

EJEMPLO DE HERENCIA DE ATRIBUTOS EN UNA JERARQUIA DE MARCOS



Usualmente un marco tiene los siguientes **campos** (en inglés se usa la palabra para *ranuras*: "slots" ):

- Nombre del marco
- Referencia al los marcos padres
- Atributos
- Procedimientos ligados

Cada campo tiene, en general :

- Nombre del campo: Este debe ser único dentro del marco, pero dos marcos distintos pueden tener un mismo nombre.

- Valor del campo: Este puede estar en blanco cuando se crea el marco, y ser llenado después. Esto equivale a saber que el objeto debe tener una propiedad determinada, según el tipo de objeto que es, aunque no sepamos su valor. Por ejemplo, en un marco que represente a una persona puede haber un campo EDAD, porque la persona debe tener una edad, así en un momento dado sea desconocida.
- Procedimiento o predicados ligados : Si\_necesario , Si\_agregado , Si\_removido

*Refiriéndonos al ejemplo ilustrado en la gráfica anterior, la siguiente gráfica adiciona algunos predicados ligados para dar una idea de cómo las acciones de agregar y remover datos pueden activar procedimientos ligados que se encargen de actualizar la información en otros marcos, en este caso los marcos que representan a los asistentes. En este ejemplo asumimos que la referencia a un Campo determinado de un marco se hace con la sintaxis: campo(marco).*

Estos procedimientos asociados son opcionales, y dan gran flexibilidad a los marcos :

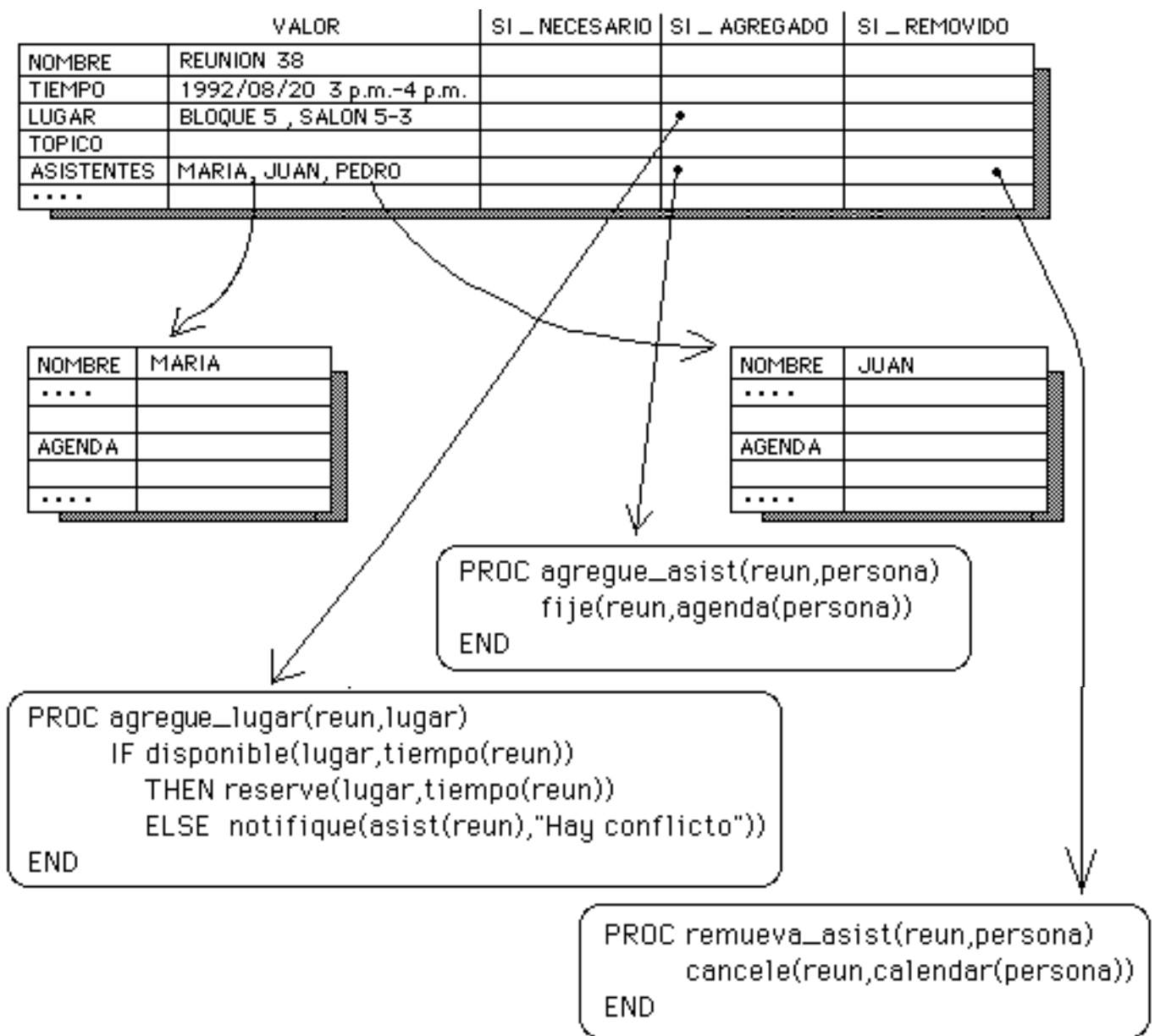
- si\_necesario : Procedimiento que se ejecuta si se requiere averiguar el valor del atributo. Por ejemplo, en un marco que representa un apersona, y que posea un campo: FECHA DE NACIMIENTO, en el campo EDAD del mismo marco, puede haber un procedimiento que calcule la edad restando el valor de FECHA DE NACIMIENTO de la fecha actual dada por el reloj del sistema.
- si\_agregado: Procedimiento que se ejecuta al tratar de asignar o modificar el valor del campo. Este procedimiento puede servir, por ejemplo, para validar un valor antes de aceptarlo para el atributo en cuestión.
- si\_removido: Procedimiento que se ejecuta si el valor del campo se quita.

Las ventajas de los lenguajes de marcos son considerables:

- Se aproximan bien a la manera como los expertos piensan acerca de mucha parte de su conocimiento.
- Proporcionan un representación estructural concisa de relaciones útiles.
- Soportan una técnica de "definición por especialización" que es fácil de usar para los expertos.
- Se han desarrollado algoritmos de deducción de proposito especial que aprovechan las características estructurales de los marcos para ejecutar rápidamente una serie de inferencias que son de frecuente ocurrencia en SS.EE.

Las herramientas más avanzadas para S.E. soportan marcos y reglas de manera integrada. Estas herramientas ponen a disposición de los expertos que no son programadores la potencia organizacional y expresiva de la programación orientada a objetos. Tales herramientas hacen posible la creación de modelos que incluyen descripciones estructurales del dominio y especificaciones del comportamiento de los objetos y del comportamiento de los expertos que trabajan con esos objetos.

PREDICADOS LIGADOS



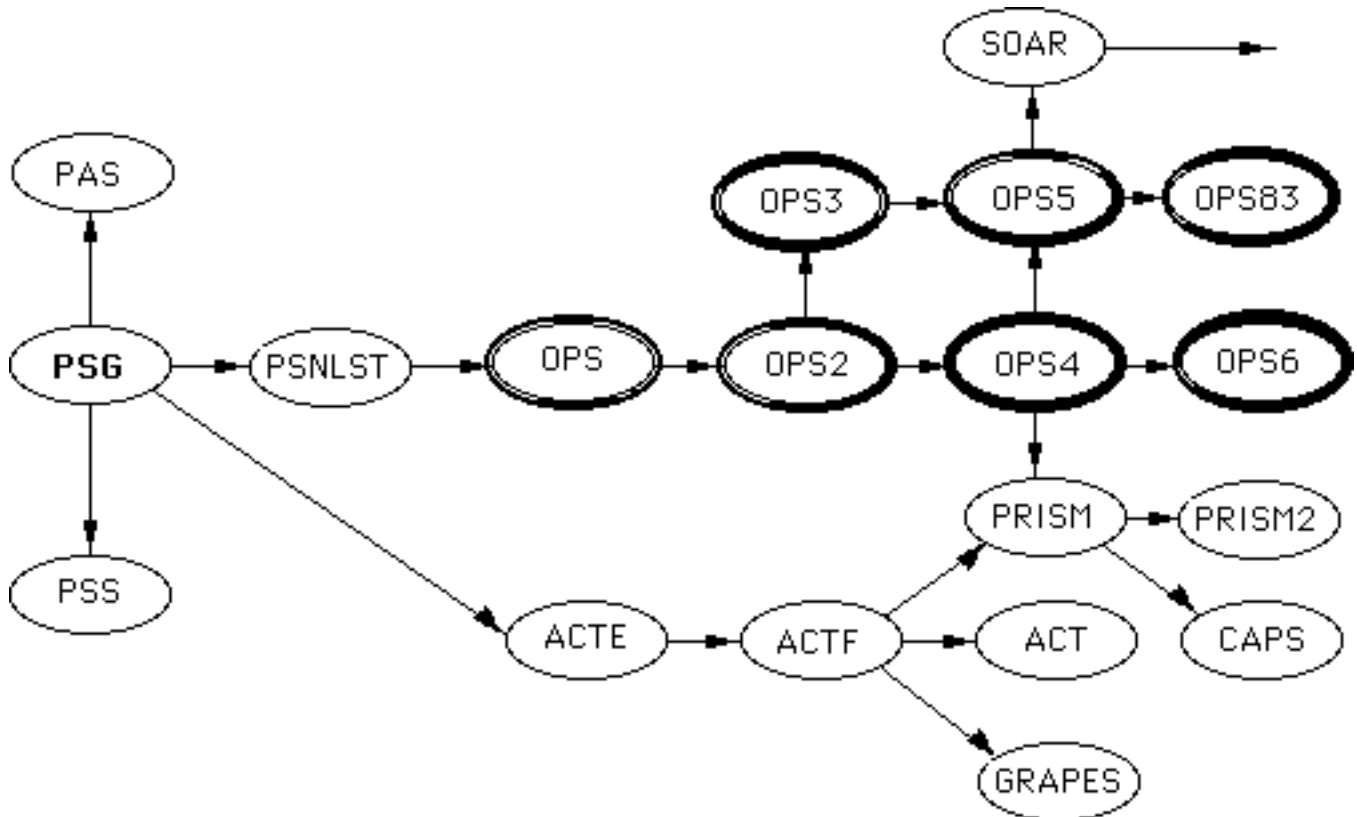
Los marcos son una manera muy flexible y poderosa de representación de conocimientos, y son utilizados en varias herramientas comerciales (ing.: "expert system shells"), como: KRL, KL-ONE, ACORN, ESP Frame Engine, KnowledgeCraft , KEE y S.1 , entre otras.

5.5.3. REGLAS

Las reglas son asociaciones entre una CONDICION o PREMISA y una CONCLUSION . La condición a su vez puede ser un solo hecho o una conjunción (y) y/o disyunción (o) de hechos . Generalmente la conclusión es un sola hecho . Las reglas también son llamadas REGLAS DE

PRODUCCION , y los sistemas que se basan en ellas se denominan SISTEMAS DE PRODUCCION (inglés: " Production Systems ") .

Aunque los Sistemas de Producción están incorporados en los formalismos de la lógica matemática y las ciencias computacionales, se puede considerar que fué Allen Newell quien en 1967 los propuso como una manera de formular las teorías del proceso de información que efectúan los humanos para la solución de problemas. En 1972 Newell describió un interpretador de sistemas de producción de propósito general : "Production System Interpreter" , del cual se derivan, entre otros, la serie de lenguajes OPS , muy utilizados para implementar Sistemas Expertos. La gráfica siguiente muestra el del desarrollo histórico respectivo .



Los sistemas basados en reglas son actualmente los más populares para codificar los conocimientos de solución de problemas que poseen los expertos . Los expertos tienden a expresar la mayoría de sus técnicas de solución de problemas en términos de un conjunto de reglas "situación - acción " , y esta es una de las razones para que se adopte tan frecuentemente este tipo de representación en SS.EE.

Estos sistemas basados en reglas presentan las siguientes características :

- 1 - Incorporan conocimientos prácticos en reglas " SI ... , Entonces ... "
- 2 - Sus capacidades, en principio, aumentan al aumentar el tamaño de sus B. C.  
Puesto que cada regla representa un "átomo " de conocimiento , estos pueden acumularse gradualmente , aumentando la potencia del sistema.
- 3 - Pueden resolver problemas de cierta complejidad seleccionando reglas relevantes, y combinado resultados de manera adecuada .
- 4 - Determinan adaptativamente la mejor secuencia para ejecutar las reglas .
- 5 - Explican sus conclusiones por medio de un seguimiento de la cadena de razonamiento ejecutada , y traduciendo a lenguaje natural la lógica de cada regla aplicada .

Los conocimientos representados en las reglas pueden ser , por ejemplo :

- 1 - Inferencias específicas que se siguen de observaciones específicas.
- 2 - Abstracciones, generalizaciones y categorizaciones de datos dados.
- 3 - Condiciones necesarias y suficientes para conseguir algún objetivo.
- 4 - Lugares más prometedores para buscar información pertinente.
- 5 - Estrategias preferidas para eliminar incertidumbre y disminuir otros riesgos.
- 6 - Probables consecuencias de situaciones hipotéticas.
- 7 - Probables causas de síntomas .

El siguiente ejemplo ilustra el tipo de reglas que se pueden incorporar en un S. E. , en este caso en un dominio legal relativo a demandas :

**Si** el demandante recibió lesión en un solo ojo  
 y el tratamiento para el ojo requirió cirugía  
 y la recuperación de la lesión fué casi completa  
 y la agudeza visual se redujo ligeramente debido a la lesión  
 y la condición es estable  
**entonces** incremente el factor de trauma por lesión en \$ 6'000.000.00

**Si** la lesión del demandante causó incapacidad temporal de una función importante  
 y los médicos del demandante no estban seguros de si la lesión era temporal  
 y la recuperación del demandante fué casi completa  
 y la agudeza visual se redujo ligeramente debido a la lesión  
 y la condición es estable  
**entonces** incremente el factor de temor en \$ 500.000.00 por cada día .

**Si** el demandante no usaba anteojos antes de la lesión  
 y la lesión del demandante requiere que este use anteojos  
**entonces** incremente el factor de pérdida de facultad en \$ 600.000.00  
 e incremente el factor de inconveniencia en \$ 550.000.00

En una buena herramienta para sistemas expertos, las reglas pueden más información, por ejemplo como se ilustra en la siguiente estructura :

|                        |                 |          |                 |
|------------------------|-----------------|----------|-----------------|
| CONTENIDA EN CONJUNTOS |                 |          |                 |
| SI                     | < ANTECEDENTE > | ENTONCES | < CONSECUENTE > |
| FECHA                  | HORA            | AUTOR    |                 |
| * * *                  |                 |          |                 |
| TRADUCCION AL ESPAÑOL  |                 |          |                 |
| ACTIVADA ?             |                 |          |                 |
| * * *                  |                 |          |                 |
| * * *                  |                 |          |                 |

la información adicional permite que el sistema soporte otras funciones : Saber a que conjuntos pertenece la regla, fecha y autor de la regla, traducción de la regla en un lenguaje más orientado al usuario , etc.

Las reglas utilizadas en los S.E. frecuentemente no relacionan de manera 100 % determinista sus premisas con su conclusión, sino que son reglas heurísticas aproximadas, indican que dadas las premisas, es más o menos probable que se verifique su conclusión, por ejemplo :

**Si**  
 la lluvia acumulada hasta el momento en la zona A es baja  
 y  
 el nivel de empapamiento del suelo es húmedo  
**entonces**  
 probablemente en el barranco B habrá caudal bajo dentro de una hora.

Y una regla del sistema DENDRAL que asocia las características de un espectrograma de masas con la probable existencia de determinados átomos o radicales :

**Si**  
 Hay un pico alto en el valor número\_atómico/carga = 71  
 y  
 Hay un pico alto en el valor número\_atómico/carga = 43  
 y  
 Hay un pico alto en el valor número\_atómico/carga = 86  
 y  
 Hay un pico alto en el valor número\_atómico/carga = 58  
**entonces**  
 debe existir una subestructura N-PROPIL-QUETONA\_3.

Para manejar estos conocimientos "aproximados", en los cuales hay incertidumbre, se han ideado métodos especiales, que veremos en el capítulo 7 .

Aunque las reglas son conceptualmente muy sencillas, con ellas pueden surgir varias dificultades, entre ellas :

- 1- Sobrecarga por gran cantidad de reglas.
- 2- Problemas con el manejo de la incertidumbre
- 3- Inadecuación respecto a la estructura del problema.

## SOBRECARGA POR GRAN CANTIDAD DE REGLAS

El desarrollo de grandes conjuntos de reglas tiende a originar dos tipos de dificultades para el Ingeniero del Conocimiento : Posible ejecución ineficiente, y bases de reglas de difícil mantenimiento.

La ejecución ineficiente se presenta si el M.I. no posee un sistema eficiente de comparación de patrones, o si el conjunto de reglas excede la capacidad de memoria RAM dedicada (lo cual origina muchas referencias a disco) .

Por otro lado, la capacidad de alguien para hacer un seguimiento de las relaciones lógicas dificulta el manejo de conjuntos de reglas . Como guía práctica , J.R. Walters y N.R. Nielsen recomiendan procurar estructurar el conjunto de reglas en subconjuntos de menos de 50 reglas cada uno . Si nos parece que el problema no se puede descomponer de manera muy natural en tales subconjuntos, se deben considerar una representación diferente del problema o una organización diferente de la base de conocimientos .



## PROBLEMAS CON EL MANEJO DE LA INCERTIDUMBRE

Los métodos numéricos para manejar la incertidumbre, como los que veremos en el capítulo 7, en general asumen el cumplimiento de ciertas relaciones lógicas (por ejemplo que no haya correlación entre ciertos fenómenos), pero es muy difícil para el I.C. asegurar que las relaciones se cumplen sobre un conjunto grande de reglas.

### INADECUACION RESPECTO A LA ESTRUCTURA DEL PROBLEMA

A veces la estructura del conocimiento de un problema no se acomoda de manera natural a determinada forma de representación, como puede ser el caso de utilizar una herramienta que proporciona solamente reglas para un problema que parece requerir otras estructuras para representar objetos complejos, siendo en ese caso más deseable una herramienta que también maneje Marcos.

### METARREGLAS

Aunque las reglas representan una estructura de conocimientos relativamente simple, estas se pueden usar de diferentes maneras; por ejemplo, algunas reglas pueden controlar la utilización de otras reglas.

Podemos hacer una analogía con el caso de una pequeña empresa que se expande: inicialmente todos los empleados están involucrados más o menos directamente en todas las actividades, pero más tarde, al volverse más compleja la compañía, se requiere que algunos empleados administren las actividades de los otros empleados.

Lo mismo puede ocurrir en un S.E.: Cuando hay pocas reglas en la B.C., cada regla representa parte del dominio del conocimiento. Al aumentar el número de reglas, es necesario organizar las actividades de las reglas. Se desarrollan "metarreglas" para este fin.

Una metarregla se escribe como una regla, frecuentemente tiene la forma:

- Si**  
intentamos evaluar tal objeto,  
**entonces**  
utilizar las reglas que tienen tales características.
- o
- Si**  
se está en tal situación,  
**entonces**  
utilizar las reglas que tienen tales características antes que otras.

Por ejemplo, en un sistema consejero financiero, una metarregla puede ser:

- Si**  
La edad del cliente es mayor de 65 años  
y  
hay reglas que mencionan "bajo riesgo" en sus premisas  
y  
hay reglas que mencionan "riesgo especulativo" en sus premisas  
**entonces**  
utilice el primer conjunto de reglas antes de utilizar cualquiera de las últimas

Puede ser difícil agregar este tipo de metaconocimiento a la B.C. Un problema con esto, es que puede haber excepciones, así, refiriéndonos al ejemplo anterior, puede haber personas mayores de 65 años que ya poseen ingresos asegurados y están interesados en riesgos especulativos.

De todas maneras, las METARREGLAS proporcionan una manera de organizar y ayudar a manejar la complejidad de una gran cantidad de reglas. Los sistemas que incluyen meta-reglas tienen cierta complejidad porque el efecto de una metarregla se distribuye, en principio, através de toda la B.C. al controlar la secuencia de ejecución de las reglas.

#### 5.5.4. ARQUITECTURAS CON TABLERO O PIZARRON

Las arquitecturas con tablero son una evolución natural de la arquitectura "clasica" de los SS.EE. la mayoría de tales sistemas tienen dos debilidades :

- 1 - El control de la aplicación del conocimiento está implícita en la estructura de la base de conocimientos ; por ejemplo, en el orden de las reglas .
- 2 - La representación del conocimiento depende de la naturaleza del M.I. , por ejemplo, un interpretador de reglas solamente puede trabajar con conocimientos expresados como reglas .

En la arquitectura de tablero, se organiza el conocimiento en módulos separados denominados "fuentes de conocimiento" (inglés: "Knowledge Sources") , cada fuente de conocimiento posee su propia base de conocimiento y mecanismo de inferencia . Las diferentes fuentes de conocimiento comparten una estructura de datos denominada "tablero", "pizarra" o "pizarrón" (inglés: "blackboard") , en la cual cada una contribuye de manera oportunista a la solución del problema.

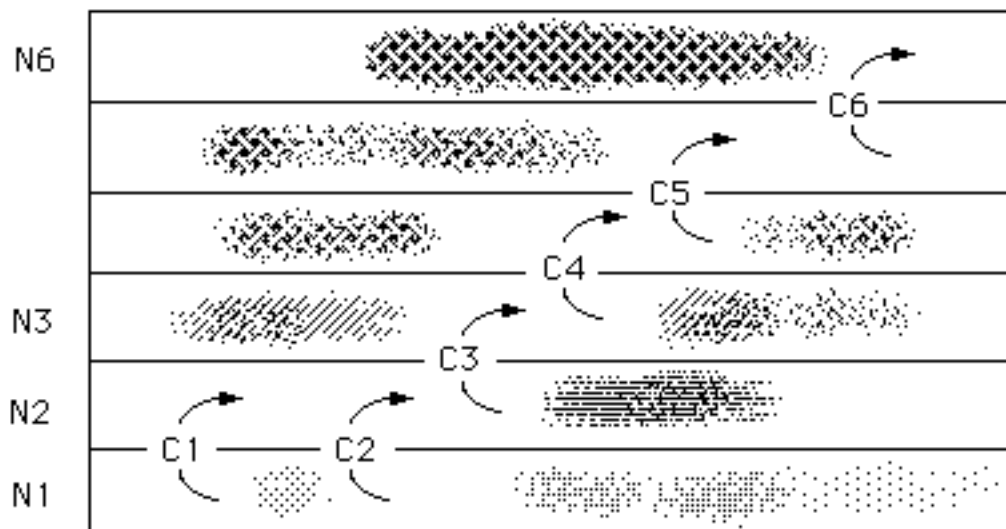
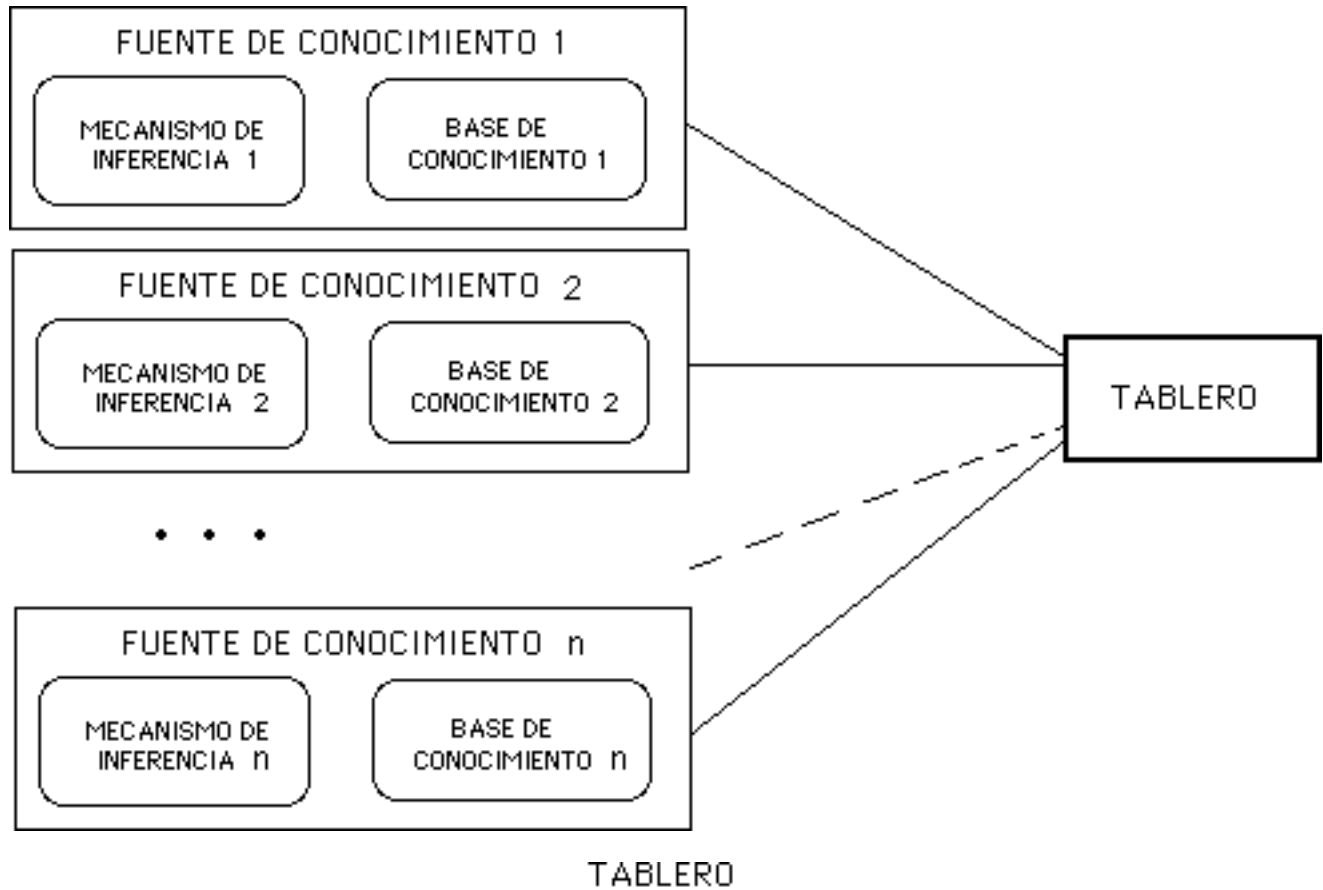
Las arquitecturas con tablero tienen sus orígenes dentro de la I. A. en el modelo propuesto por Selfridge en 1959 para el reconocimiento del habla. También fué elaborado este concepto en 1962 por Allen Newell, pero realmente se vino a consolidar como una arquitectura práctica en el sistema de reconocimiento del habla HEARSAY II , desarrollado entre 1971 y 1976 por Lee Erman y Raj Reddy . Las etapas en las que se han desarrollado estas arquitecturas son :

- 1 - Desarrollo de Hearsay II (1971-1976)
- 2 - Primeras aplicaciones (1975-1980)
- 3 - Generalizaciones: desarrollo de herramientas (1977-1984)
- 4 - Difusión.
- 5 - Extensiones y refinamientos.

El nombre de "tablero" proviene de una analogía con una situación en la cual tuviéramos reunidos en un salón y frente a un tablero, a un grupo de expertos, cada uno especialista en un subdominio. Escribimos en el tablero la formulación inicial del problema, y los expertos empiezan a pensar. Cada que uno de ellos tiene algo que aportar (idea interesante, hipótesis, etc. ) lo escribe en el tablero para que todos lo vean, lo cual ayuda a los demás expertos. Al final habrá uno que de el ultimo paso para resolver el problema. La solución se habrá logrado solo gracias al aporte de los diversos especialistas.

Las arquitecturas con tablero permiten aprovechar diversos tipos de conocimiento, por ejemplo en el sistema pionero Hearsay II se utilizaron 12 fuentes de conocimiento, como : fonético, gramatical, etc.

ESQUEMA DE UNA ARQUITECTURA CON TABLERO



En muchos casos el problema se puede descomponer en niveles de detalle, y existen conocimientos especializados que parten de datos de un nivel para concluir estructuras de nivel superior. Aquí el tablero se muestra dividido en niveles o paneles  $N_i$ , los conocimientos son los  $C_i$ .

Estas arquitecturas son apropiadas cuando parece natural subdividir el problema en diversos aspectos o niveles de detalle, como en el caso de la comprensión del habla, donde, partiéndose de los sonidos hasta llegar a la comprensión hay diversos niveles y para cada uno de ellos existen tratamientos diferentes: sonidos, fonemas, palabras, sintaxis, semántica, etc. Si los expertos usan una metodología jerárquica de solución, este es un indicio de la posible aplicabilidad de este enfoque.

### 5.5.5. UTILIZACION DE MODELOS

No todo el conocimiento puede ser capturado en reglas de producción ni en los otros esquemas que hemos visto. Los expertos utilizan también otras formas de conocimiento en su razonamiento. Por ejemplo, ellos pueden utilizar información de relaciones de comportamiento complejas, y relaciones matemáticas, que no son adecuadas para representarlas como reglas, o redes semánticas o marcos.

Todos los sistemas de representación de conocimientos que hemos visto se catalogan como modelos o conocimiento **superficial** (inglés: "shallow" o "surface") .

Algunas limitaciones de los S.E. se podrían superar al incorporar a estos modelos del comportamiento de los objetos representados, y detalles de sus relaciones causales, tendiéndose a tener un modelo o conocimiento denominado más **profundo** (inglés: "deep") . También se dice que en estos caso se razona a partir de "principios básicos" o "primeros principios".

La idea es que cuando los conocimientos superficiales sean insuficientes, el S.E. pudiera recurrir a una especie de simulación en un modelo causal de la situación, para razonar. Pero, aunque esto parece ideal, precisamente se desarrollaron los S.E. actuales para atender problemas en los que no disponemos de otros modelos eficaces. De todas maneras existe la tendencia a incorporar cada vez más conocimientos más profundos de los objetos, sus comportamientos y relaciones dentro de los S.E. Esto se puede lograr más fácilmente en casos como el diagnóstico de circuitos o máquinas, donde es más factible tener modelos causales detallados.

## 6. LA INFERENCIA

El Mecanismo de Inferencia decide cómo utilizar el conocimiento del sistema desarrollando una AGENDA que organiza los pasos para resolver el problema actual. Contiene las funciones de:

- 1- INTERPRETADOR, generalmente "interpretador de reglas" que ejecuta items escogidos de la Agenda, aplicando las reglas correspondientes de la base .
- 2- PLANIFICADOR (inglés: "scheduler"), que mantiene control la Agenda para controlar la secuencia de aplicación de reglas según algún criterio de prioridades.

### MECANISMOS BASICOS DE INFERENCIA: ENCADENAMIENTOS HACIA ATRAS Y HACIA ADELANTE

Teniendo una B.C., por ejemplo con las siguientes reglas y hechos que se ilustran en la tabla siguiente:

| Reglas: |           |                 | Base de Hechos verdaderos inicial: |
|---------|-----------|-----------------|------------------------------------|
| R1      | A         | $\Rightarrow$ E | H , K                              |
| R2      | B         | $\Rightarrow$ D |                                    |
| R3      | H         | $\Rightarrow$ A |                                    |
| R4      | E y G     | $\Rightarrow$ C |                                    |
| R5      | E y K     | $\Rightarrow$ B |                                    |
| R6      | D y E y K | $\Rightarrow$ C |                                    |
| R7      | G y K y F | $\Rightarrow$ A |                                    |

Existen dos estrategias básicas para activar las reglas, denominadas Encadenamiento hacia Adelante (inglés: "Forward Chaining") y Encadenamiento hacia Atrás (inglés: "Backward Chaining") :

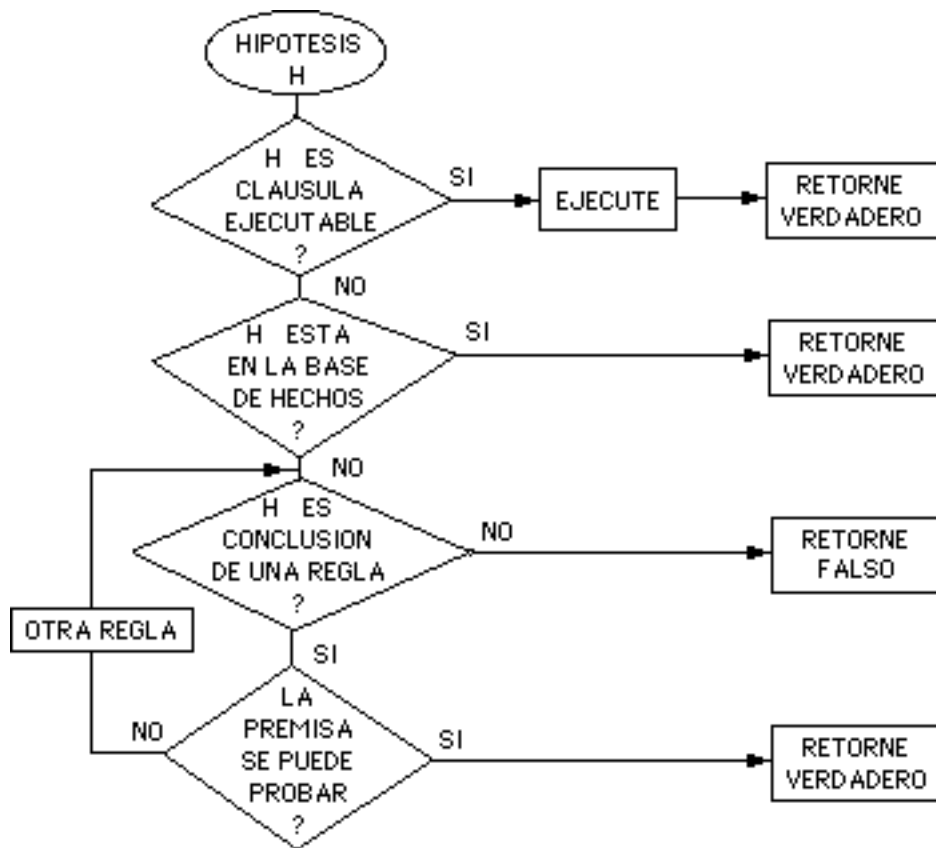
1- ENCADENAMIENTO HACIA ADELANTE :

Al verificarse las premisas de ciertas reglas, se verifican sus conclusiones, y luego, si estas conclusiones son a su vez premisas de otras reglas, entonces se verifican también las conclusiones de esas otras reglas, y así sucesivamente, por ejemplo:

| Activación de reglas: |           |                 | Conclusiones        |
|-----------------------|-----------|-----------------|---------------------|
| R3                    | H         | $\Rightarrow$ A | A, H, K             |
| R1                    | A         | $\Rightarrow$ E | A, E, H, K          |
| R5                    | E y K     | $\Rightarrow$ B | A, B, E, H, K       |
| R2                    | B         | $\Rightarrow$ D | A, B, D, E, H, K    |
| R6                    | D y E y K | $\Rightarrow$ C | A, B, C, D, E, H, K |

2- ENCADENAMIENTO HACIA ATRAS :

Se trata de probar un hecho que se toma como hipótesis, y entonces se busca una regla cuya conclusión sea esa hipótesis. Si esa regla puede satisfacerse con las conclusiones verificadas hasta el momento, ha terminado la tarea de verificar la hipótesis. Si las premisas de la regla no están verificadas, entonces se consideran como nuevas hipótesis a concluir y se aplica igual proceso a esas nuevas hipótesis. Esto es lo que se conoce como modus ponens. Por ejemplo:



Sea C el hecho a probar, entonces :

| Hipotesis a Probar | Activación de reglas:  |
|--------------------|------------------------|
| C                  | R4 E y G => C          |
| E                  | R1 A => E              |
| A                  | R3 H => A              |
| H                  | verificado ya          |
| G                  | no podemos verificarlo |
| C                  | R6 D y E y K => C      |
| D                  | R2 B => D              |
| B                  | R5 E y K => B          |

### 3.1.4. MEMORIA DE TRABAJO

Es un área de memoria ( inglés: " workspace " ) reservada para la descripción del problema actual, tal como lo especifican los datos de entrada; también se usa para registrar resultados intermedios. Conserva hipótesis y decisiones intermedias de tres tipos:

- PLAN:        Cómo atacar el problema.

- AGENDA: Acciones potenciales que esperan ejecución.
- SOLUCION: Hipótesis candidatas y cursos de acción alternativos que el sistema ha generado hasta el momento.

La memoria de trabajo también se llama "Tablero", "Pizarra" o "Pizarrón" ( inglés: "Blackboard" ), pero se utiliza este término, especialmente cuando el sistema completo se compone de varios módulos, siendo cada uno un S.E. especialista en determinado nivel de detalle o de descripción del problema ( sección 5.5.4 ) .

## 7. LA INCERTIDUMBRE Y EL RAZONAMIENTO APROXIMADO

Existen diversas razones por las cuales se presenta incertidumbre en los conocimientos, por ejemplo :

- **Conocimiento Incierto** : El experto puede tener solamente un conocimiento heurístico o empírico respecto a algunos aspectos del dominio. Por ejemplo, que cierto conjunto de evidencias implican probablemente determinada conclusión.
- **Datos Inciertos** : Aun cuando tengamos certidumbre del conocimiento, por ejemplo de una relación causa-efecto , la certeza de los datos puede ser cuestionable .

Entonces, para la aplicación de una regla, en general puede haber incertidumbre tanto en cuanto al grado en que se cumple cada premisa, como en lo determinada que quede la conclusión dado que se verifiquen las premisas, o sea, en una regla como :

Si A y B entonces C

- Dados A y B verdaderos, qué tan seguros podemos estar de que se cumple C ?  
(en otras palabras: cual es la confiabilidad **de la regla** en sí ? ) .
- Qué tan seguros estamos de que se cumple A ?
- Qué tan seguros estamos de que se cumple B ?

También se origina incertidumbre por :

- **Información Incompleta** : Con frecuencia es necesario tomar decisiones con información incompleta. A veces debemos asumir alguna información " por defecto " .
- **Azar** : A veces en el dominio hay elementos que debemos tratar como aleatorios .

Para manipular conocimientos inciertos en los SS.EE. se han utilizado diversos métodos, por ejemplo : El razonamiento no-monotónico, la teoría de probabilidades, los factores de certeza, procedimientos basados en lógica borrosa ( inglés: "Fuzzy Logic" ) , la teoría de la evidencia de Dempster-Shafer, etc.

Los métodos tratan, tanto de cómo se considera la incertidumbre de los eventos básicos, así como de las maneras como se combinan esas incertidumbres en proposiciones lógicas: Y , O , y en la aplicación de reglas (en general también inciertas) para producir conclusiones. En otras palabras: Cómo se calculan las certezas de proposiciones lógicas y de las conclusiones de reglas, a partir de las certezas de los hechos elementales y de las reglas.

## 7.1. RAZONAMIENTO NO MONOTONICO

Los sistemas de razonamiento basados en lógica de predicados son conceptualmente elegantes, rigurosos y precisos. Utilizando la lógica formal se puede deducir la verdad, y nunca se genera contradicción, siempre que no exista contradicción en los axiomas. Por esto, la lógica de predicados es un sistema de razonamiento monotónico : se mueve en una sola dirección, y continuamente agrega verdades. El número de hechos conocidos como verdaderos en cualquier momento nunca disminuye.

Esta característica de la lógica de predicados limita su aplicabilidad en el mundo real, ya que : La información disponible en un punto de decisión dado con frecuencia es incompleta, y existe la necesidad de lograr una "adivinación" ( asunción ) razonable, aunque posiblemente incorrecta, cuando de otra forma el razonamiento se hallaría en un callejón sin salida.

Al tratar con estas dificultades, los humanos "aumentamos" las verdades con suposiciones que están sujetas al cambio si tuvieramos más información. Son creencias tentativas o supuestos hechos ante la falta de evidencia contraria. Por ejemplo, cuando tomamos la decisión de abordar un avión, asumimos que el piloto y la nave estan en perfectas condiciones para el vuelo. Un sistema de razonamiento no monotónico se basa en este principio, y por eso el número de hechos conocidos como verdaderos en cualquier momento puede disminuir, al recibirse más información.

## 7.2. METODOS PROBABILISTICOS

Recordando las fórmulas para calcular las probabilidades de la conjunción y la disyunción de eventos. Siendo los eventos A y B independientes :

$$P(A \text{ y } B) = P(A) * P(B) \qquad P(A \text{ o } B) = P(A) + P(B) - P(A)*P(B)$$

Y para calcular las probabilidad condicional de la hipótesis H dada la evidencia E, a partir de la probabilidad a priori de H , P(H), y de la probabilidad de E , P(E) :

$$P(H | E) = P(H \text{ y } E)/P(E)$$

También disponemos de otra fórmula para calcular esta probabilidad, basándonos en el teorema de Bayes :

$$P(H | E) = P(H)*P(E | H) / P(E)$$

Cuando se tienen varias hipótesis  $H_k$  , ( con  $\sum P(H_k) = 1$  ) , estando cada una relacionada con la evidencia E , entonces tenemos que la probabilidad condicional de la i - ésima hipótesis , dada la evidencia E, es :

$$P(H_i | E) = \frac{P(H_i) * P(E | H_i)}{\sum [ P(H_k) * P(E | H_k) ]}$$

La probabilidad condicional  $P(H | E)$  es para nuestros efectos el nivel de creencia en la hipótesis H revisado tras el hallazgo de E .

### 7.2.1. PROBLEMAS DE LA APLICACION DE LA TEORIA DE PROBABILIDADES A LA INCERTIDUMBRE DE LOS SS.EE.



- 1 - Se requiere conocer la probabilidades involucradas, lo cual no es siempre posible.
- 2 - Es matemáticamente correcta, pero ciertas fórmulas son válidas asumiendo independencia de los eventos, pero no siempre estamos seguros de que los eventos de nuestro caso no están correlacionados (por ejemplo: dos síntomas para un caso de diagnóstico).
- 3 - Al aumentar la Base de Conocimientos es difícil modificar una probabilidad, para actualizarla, sin causar efectos que se propaguen y violen lo asumido para garantizar la validez de las fórmulas, por ejemplo, se puede violar que  $\sum P(H_i) = 1$
- 4 - Realmente la teoría de probabilidades se originó para estudiar los casos en los que dan muchos eventos posibles, y existe un muestreo, y estadísticas, etc. pero en cambio para el caso de los conocimientos para un S.E. tratamos con grados de creencia que casi siempre son subjetivos y en el fondo no están realmente muy relacionados con ningun muestreo y ningunas estadísticas.
- 5 - En la práctica se usan estos métodos viéndolos como un método de combinar valores inciertos, pero olvidándonos realmente de su origen y sus estrictos fundamentos teórico-matemáticos.

### 7.3. FACTORES DE CERTEZA

Se puede asignar un valor de certeza, denominado "factor de certeza" a cada hecho. Esta es una cuantificación subjetiva del juicio y la intuición del experto. Luego se define la manera de calcular el Factor de Certeza ( **FC** ) que tienen las combinaciones lógicas de los hechos, en función de los Factores de cada hecho.

Se parte de dos estimaciones subjetivas **MC** y **MD** ; definidas así :

**MC(C,E)** = medida en la cual nuestra creencia en la conclusión C se incrementa ante la evidencia E. Por definición :  $0 \leq \text{MC}(C,E) \leq 1$

**MD(C,E)** = medida en la cual nuestra no creencia en la conclusión C se incrementa ante la evidencia E. Por definición :  $0 \leq \text{MD}(C,E) \leq 1$

Estas dos medidas son independientes, no son probabilidades ( aunque en sus valores extremos pueden tener la interpretación de probabilidad). Por lo tanto una no es el complemento de la otra. Además, para cualquier regla dada :

si **MC(C,E)** > 0 entonces **MD(C,E)** = 0  
 si **MD(C,E)** > 0 entonces **MC(C,E)** = 0

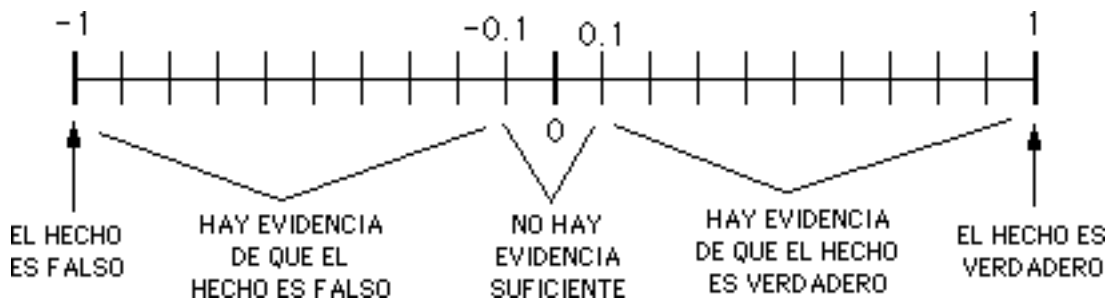
Estas dos medidas se combinan en un solo FACTOR DE CERTEZA **FC(C,E)** así :

$$\text{FC}(C,E) = \text{MC}(C,E) - \text{MD}(C,E)$$

Como en general para una conclusión dada C hay varias reglas , en este caso E debe considerarse como todas las evidencias que se han considerado hasta el momento relativas a C .

Resulta una escala de valores entre -1 y +1 , para la certeza de un hecho, correspondiendo el -1 a los hechos ciertamente falsos, y 1 a los hechos verdaderos. Un hecho que tiene alguna evidencia de ser falso recibe un factor negativo , y un hecho que tiene alguna evidencia de ser verdadero recibe un factor positivo. Se puede considerar que los valores cercanos a cero significan que no se tiene evidencia suficiente de que el hecho sea falso ni de que el hecho sea verdadero . Representamos por **FC(A)** el factor de certeza del hecho A, y por **FC( A, B )** el factor de certeza de la hipótesis A dada la evidencia B.

Gráficamente :



Los factores de certeza ( **FC** ) de la conjunción y la disyunción de dos hechos :

$$FC( A \text{ y } B ) = \min( FC(A) , FC(B) )$$

$$FC( A \text{ o } B ) = \max( FC(A) , FC(B) )$$

Para las reglas, un uso común es asociar con la conclusión de cada regla el valor **FC** , por ejemplo :

Regla R 17 : **Si**  
 la inflación es superior al 5 %  
**entonces**  
 los valores de las acciones bajan , **FC = 0.7**

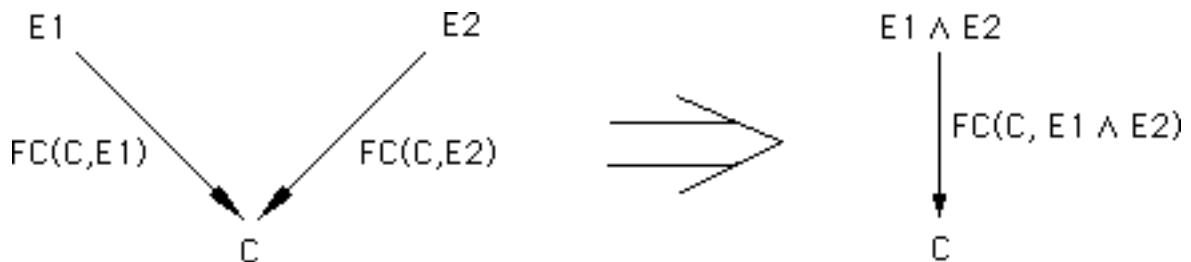
En el caso de las reglas, el factor de certeza de la conclusión se obtiene multiplicando los factores de la premisa y la conclusión.

Sea la regla: Si premisa entonces conclusión , con **FC(regla)**

entonces  $FC( \text{conclusión} ) = FC(\text{premisa}) * FC(\text{regla})$

A menudo un S.E. necesita calcular factores de certeza resultantes de los efectos combinados de varias reglas. Por ejemplo :

1 - Evidencias simultáneas para la misma conclusión :



◆ Si para una misma conclusión **C** , disponemos de dos evidencias : **E1** y **E2**, y conocemos **FC( C, E1 )** y **FC( C, E2 )** , el factor de certeza de la hipótesis, dadas ambas evidencias, o sea **FC( C, E1 y E2 )** , se calcula así :

Si **FC(C, E1)** y **FC(C, E2)** son de signos iguales, entonces :

$$FC( C, E1 \text{ y } E2 ) = FC( C, E1 ) + FC( C, E2 ) - FC( C, E1 ) * FC( C, E2 )$$

Si **FC(C, X2)** y **FC(X1, X3)** tuvieran signos opuestos, entonces sería :

$$( FC( C, E1 ) + FC( C, E2 ) )$$

$$FC(C, E1 \text{ y } E2) = \frac{FC(C, E1) * FC(C, E2)}{(1 - \min(|FC(C, E1)|, |FC(C, E2)|))}$$

Ejemplo: sean las dos reglas :

Regla R 18 : **Si**  
 la inflación es inferior al 5 %  
**entonces**  
 los valores de las acciones subirán , **FC** = 0.7

Regla R 19 : **Si**  
 el desempleo es menor del 7 %  
**entonces**  
 los valores de las acciones subirán , **FC** = 0.6

Asumamos que se presume que la inflación del próximo año será 4 % y el desempleo será del 6.5 % , o sea que las premisas de ambas reglas son verdad, con certeza 1 . El efecto combinado es :

$$FC(C, E1 \text{ y } E2) = FC(C, E1) + FC(C, E2) - FC(C, E1) * FC(C, E2)$$

$$FC(C, E1 \text{ y } E2) = 0.7 + 0.6 - 0.7 * 0.6 = 0.7 - 0.42 = 0.28$$

Otro ejemplo, sean las dos reglas R 31 y R 32 :

Regla R 31 : **Si**  
 la compañía X usa alta tecnología  
 y  
 las acciones de la compañía X están en alta demanda  
**entonces**  
 las acciones de la compañía X son "volátiles" ,  
**FC** = 0.6

Regla R 32 : **Si**  
 las acciones de la compañía X son una nueva emisión  
 o  
 las acciones de la compañía X son muy comercializadas  
**entonces**  
 las acciones de la compañía X son "volátiles" ,  
**FC** = 0.7

Asumamos que tenemos las siguientes certezas sobre los hechos de las premisas :

$$FC(\text{la compañía X usa alta tecnología}) = 0.9$$

$$FC(\text{las acciones de la compañía X están en alta demanda}) = 0.6$$

$$FC(\text{las acciones de la compañía X son una nueva emisión}) = 0.8$$

$$FC(\text{las acciones de la compañía X son muy comercializadas}) = 0.4$$

Para cada regla R 31 y R 32 se calcula primero el **FC** de las premisas, y luego se multiplica por el **FC** de la regla. Obsérvese que la premisa de R 31 es conjunción y la de R 32 es una disyunción :

$$FC(\text{las acciones de la compañía X son "volátiles", R 31}) = \min(0.9, 0.6) * FC(R 31) = 0.6 * 0.6 = 0.36$$

$$FC(\text{las acciones de la compañía X son "volátiles", R 32}) = \max(0.8, 0.4) * FC(R 32) = 0.8 * 0.7 = 0.56$$

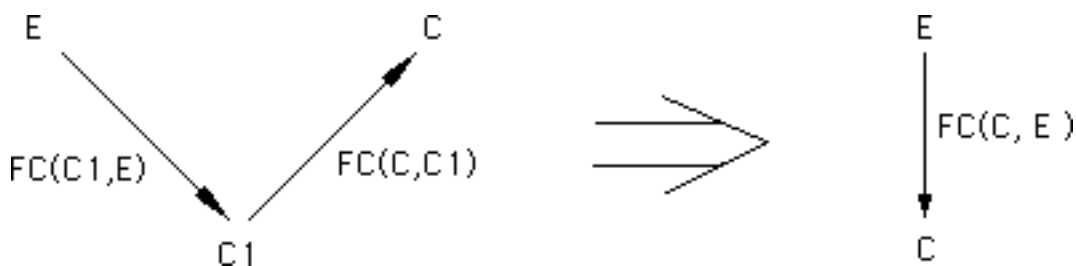
Entonces, como tanto R 31 como R 32 contribuyen a la misma conclusión, el FC de la conclusión, considerando ambas reglas será :

$$\text{FC}(\text{las acciones de la compañía X son "volátiles", R 31, R 32}) = 0.36 + 0.56 - (0.36 * 0.56) = 0.72$$

Si la misma hipótesis es soportada por más de una regla, se aplica la misma fórmula, por ejemplo, si una regla R 33, con FC = 0.8 soportara la misma conclusión que R 31 y R 32, tendríamos :

$$\text{FC}(\text{las acciones de la compañía X son "volátiles", R 31, R 32, R33}) = 0.72 + 0.8 - (0.72 * 0.8) = 0.94$$

2 - Reglas encadenadas :



- ◆ Si tenemos una regla con premisa E y conclusión C1 con factor de certeza  $\text{FC}(C1, E)$ , y otra regla con premisa C1 y conclusión C con factor de certeza  $\text{FC}(C, C1)$ , entonces el factor de certeza  $\text{FC}(C, E)$  se calcula así :

$$\text{Si } \text{FC}(C1, E) \geq 0 \text{ , entonces : } \text{FC}(C, E) = \text{FC}(C1, E) * \text{FC}(C, C1)$$

$$\text{Si } \text{FC}(C1, E) < 0 \text{ , entonces : } \text{FC}(C, E) = - \text{FC}(C1, E) * \text{FC}(C, \neg C1)$$

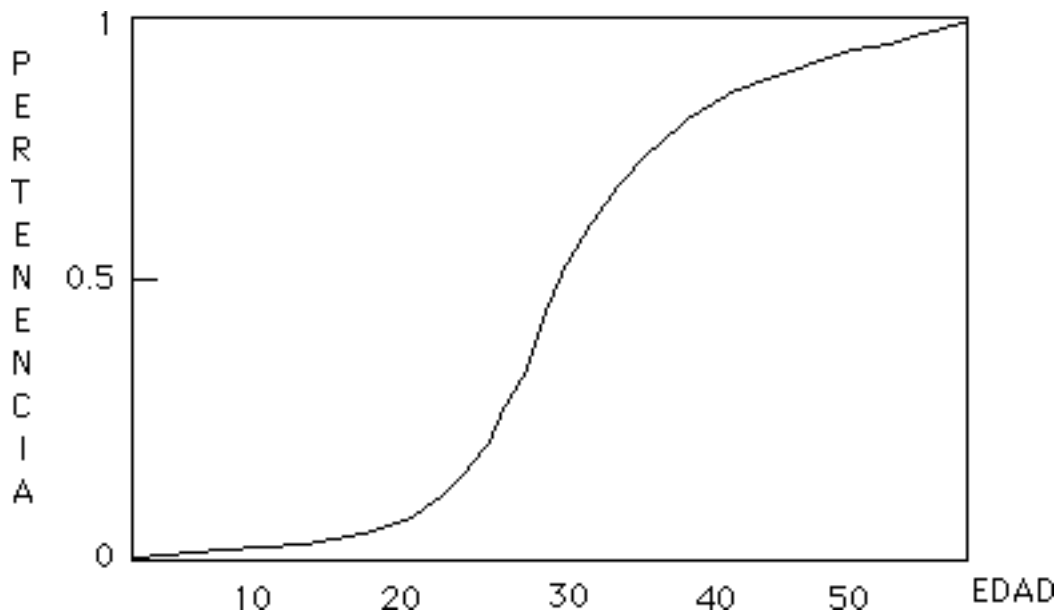
## 7.4. LOGICA BORROSA O RAZONAMIENTO DIFUSO

Rutinariamente colocamos las cosas en clases que aunque tengan significados bien definidos, muchas veces sus límites no están bien definidos.

En la matemática convencional el concepto de CONJUNTO requiere una definición tal que sepamos con certeza absoluta si un elemento x pertenece o un conjunto dado, inclusive para conjuntos con infinitos elementos.

Sin embargo, conjuntos como : el de los automóviles grandes, el de los caballos rápidos, o el de personas altas, no están tan bien definidos. La teoría de conjuntos borrosos (inglés: Fuzzy Sets) , iniciada por Lofti Zadeh , maneja la pertenencia de un elemento x a un conjunto X asignándole un "valor de pertenencia" entre cero y uno. Cero indica que el elemento no pertenece al conjunto, y uno indica que el elemento definitivamente si pertenece al conjunto X .

Por ejemplo, una persona tiene un grado de pertenencia entre cero y uno al conjunto "personas viejas" , lo cual lo podemos ilustrar por medio de una función de pertenencia, según la edad de la persona, así, una persona recién nacida tendrá un valor de pertenencia muy cercano a cero, y su pertenencia al conjunto es mayor a medida que su edad aumenta.



estos grados de pertenencia tiene una traducción directa a las certeza de las expresiones de hechos, por ejemplo : consideremos el hecho: " María es vieja " , si la edad de María es de 70 años, podemos asignar, por ejemplo un valor de verdad de 0.9 . Designando por  $m_X(x)$  el valor de pertenencia de  $x$  al conjunto  $X$  , tenemos :  $m_{VIEJOS}(María) = 0.9$

Hay que comprender que no se trata de una probabilidad, como sería : "hay un 90% de probabilidad de que María sea vieja", sino que : " el grado de pertenencia de María al conjunto de gente vieja es 0.9 "

Ambas afirmaciones son muy diferentes : El enfoque probabilístico presupone que María es vieja o no lo es y tenemos incertidumbre en cuanto a " a cual de esos dos conjuntos pertenece.

La lógica borrosa supone que María es más o menos vieja, y que la incertidumbre es un propiedad inherente al estado de María, y no refleja simplemente incertidumbre en la información que tenemos acerca de María .

## DEFINICIONES FORMALES

Sea  $X$  el conjunto de elemento representados por  $x$  , entonces :  $x = \{ X \}$

Un subconjunto borroso  $A$  en  $X$  se caracteriza por una función de pertenencia  $m_A(x)$  , que proyecta cada objeto de  $X$  dentro del intervalo de números reales  $[0,1]$  .  $0 \leq m_A(x) \leq 1$

- El conjunto  $A$  es vacío si y sólo si: pra todo  $x$  :  $m_A(x) = 0$
- Los conjuntos  $A$  y  $B$  son iguales si y sólo si: pra todo  $x$  :  $m_A(x) = m_B(x)$
- Siendo  $C$  el complemento de  $A$  , entonces :  $m_C(x) = 1 - m_A(x)$
- $A$  es subconjunto de  $B$  si y sólo si :  $m_B(x) \geq m_A(x)$
- Si  $U$  es unión de  $A$  y  $B$  , o sea  $U = A \cup B$  entonces :  $m_U(x) = \max( m_A(x), m_B(x) )$
- Si  $I$  es intersección de  $A$  y  $B$  , entonces :  $m_I(x) = \min( m_A(x), m_B(x) )$

Véase que, por ejemplo en los casos de la unión y la intersección da resultados muy diferentes a si se interpretaran los grados de pertenencia como probabilidad :

Sea **A** el conjunto de la gente muy alta y sea **B** el conjunto de la gente muy ingeniosa  
Sean : " Juan es alto ", con  $m_A(x) = 0.5$  y " Juan es ingenioso ", con  $m_B(x) = 0.5$

Asumiendo independencia de los eventos, si estos valores fueran probabilidades, la probabilidad de que Juan se muy alto y muy ingenioso sería  $0.5 * 0.5 = 0.25$  .

Pero como realmente son valores de pertenencia,  $m_{A \cup B}(x) = \min(0.5, 0.5) = 0.5$   
O sea que Juan pertenece en grado 0.5 al conjunto de gente alta e ingeniosa

## 7.5 TEORIA DE LA EVIDENCIA DE DEPSTER-SHAFER

Se asigna un número entre 0 y 1 para representar el grado de soporte que un cuerpo de evidencia da a una proposición. Aunque formulada así se parece a las probabilidades bayesianas, sin embargo esta teoría es más general.

La teoría de probabilidades requiere que la probabilidad de de ocurrencia de un evento  $P(A)$ , y la probabilidad de que el evento no ocurra  $P(\neg A)$  sumen 1 , pero en la práctica nuestra **CREENCIA** en ambas puede ser cero, si no tenemos evidencia en ningun sentido.

Si a un detective en la escena de un homicidio le pedimos que nos cuentifique su grado de creencia en que "el culpable es el mayordomo", el detective puede responder con "cero", y sin embargo puede también responder "cero" para "el mayordomo no es el culpable", en este caso el detective realmente está indicando que no tiene información en uno ni otro sentido.

Aunque asignar valores a la **CREENCIA** tiene sentido en terminos de nuestra experiencia, la signacion de probabilidades es rigida; por ejemplo, si el detective asigna un aprobabilidad de "cero" a "el culpable es el mayordomo" simultaneamente está asignando una probabilidad de "uno" a "el mayordomo no es el culpable", pero esos valores no reflejan la indecision en las creencias del detective: Desde el punto de vista del detective no se puede llegar ya a una conclusión , en cambio la asignación de probabilidades obligaría a una conclusión.

La base de la teoría de Dempster-Shafer es la definición de una Funcion de Creencia o **CREDIBILIDAD** Comenzamos con un conjunto de eventos posibles a los cuales asignamos valores de creencia que reflejen cuán fuertemente creemos que el evento es cierto. Supongamos que se presenta una falla que hace pensar al experto en una de tres causas :  $C_1, C_2, C_3$

Para el Cálculo de Creencias, el conjunto de eventos posibles es:  $E = \{C_1, C_2, C_3\}$ .

Las probabilidades bayesianas realmente son un caso especial de las funciones de creencia : El cálculo de creencias de Dempster-Shafer sirve como una generalización de los conceptos probabilísticos, pero precisamente por ser más amplio su alcance se puede usar para representar características de la incertidumbre que son difíciles o imposibles de representar usando los conceptos probabilísticos. Por ejemplo, el cálculo de creencias proporciona una manera natural de representar la ignorancia acerca de una situación. Ignorancia en este contexto significa que no tenemos evidencia para formar una opinión; por lo tanto, una función de creencia que represente un estado de ignorancia (llamada Función Creencia vacía), está dada por :

$$Cr(X) = \begin{cases} 0 & \text{si } X \neq E \\ 1 & \text{si } X = E \end{cases}$$

La Función de Creencia vacía indica que aunque sabemos que la respuesta correcta está en alguna parte en el conjunto total de posibilidades, no tenemos creencia similar acerca de algún subconjunto del

conjunto total de posibilidades. Así, las Funciones de Creencia nos permiten distinguir entre la falta de creencia (ignorancia), usando la Función de Creencia vacía, y un bajo valor de creencia.

La Función de Creencia o Credibilidad no se define sobre este conjunto E, sino sobre el **Conjunto Potencia** de E, que está definido como el **conjunto de todos los subconjuntos** de E, y que convencionalmente se representa por:  $2^E$ .

Continuando con nuestro ejemplo: el experto construye ese conjunto potencia que contiene ocho elementos:

$$2^E = \{ \emptyset, \{ C_1 \}, \{ C_2 \}, \{ C_3 \}, \{ C_1, C_2 \}, \{ C_1, C_3 \}, \{ C_2, C_3 \}, \{ C_1, C_2, C_3 \} \}$$

siendo  $\emptyset$  el conjunto vacío, que es subconjunto de cualquier conjunto.

El Experto puede expresar un grado de creencia para cada elemento de este conjunto. En general entonces, una Función de Creencia  $Cr( )$  proyecta el conjunto potencia del conjunto de eventos en el rango  $[0,1]$ , o sea:  $Cr : 2^E \rightarrow [0, 1]$

Además, la Función Creencia debe satisfacer estas tres condiciones:

- 1)  $Cr(\emptyset) = 0$
- 2)  $Cr(E) = 1$
- 3) Para cada entero positivo n y cada conjunto  $A_1, A_2, \dots, A_n$  de subconjuntos de E, se cumple:

$$Cr(A_1 \cup A_2 \cup \dots \cup A_n) \geq \sum_i Cr(A_i) - \sum_{i < j} Cr(A_i \ll A_j) + \dots + (-1)^{n+1} Cr(A_1 \ll \dots \ll A_n)$$

A pesar del aspecto complejo de la condición 3, esta establece una restricción a los valores de creencia, de modo que si en nuestro ejemplo se asignan valores a "La causa es  $C_1$ " y a "La causa es  $C_2$ ", o sea a  $Cr(C_1)$  y  $Cr(C_2)$ , la condición 3 establece que tiene que cumplirse que :

$$Cr(C_1, C_2) \geq Cr(C_1) + Cr(C_2)$$

la creencia de que la causa está en el conjunto  $\{C_1, C_2\}$  no puede ser menor que la suma de las creencias en la causalidades individuales de cada una.

El objetivo del Cálculo de Creencias de Dempster-Shafer es generar los valores para la Función de Creencia. En lugar de solicitar al experto que asigne valores a Funciones de Creencia definidas sobre un conjunto de alternativas ( lo cual sería muy difícil ya que debe cumplir las tres condiciones ya formuladas), los valores se construyen a partir de asignaciones básicas de probabilidades que pueden ser determinadas por el experto.

Una **asignación básica de probabilidad** es una función  $m$  que también proyecta el conjunto potencia del conjunto de eventos en el rango  $[0,1]$ , como una Función de Creencia, pero con las únicas dos condiciones:

$$\begin{aligned} \text{i) } & m(\emptyset) = 0 \\ \text{ii) } & \sum_{S \dots X} m(X) = 1 \end{aligned}$$

La primera condición asegura que no se asigna probabilidad al conjunto vacío, y la segunda que la suma de las probabilidades asignadas sobre todos los conjuntos es uno.  $m(X)$  También se llama "número básico de probabilidad del subconjunto X", o **Masa Probabilística** del subconjunto X.

La relación entre las Masas Probabilísticas asignadas a los subconjuntos del conjunto de eventos posibles y el Valor de Creencia asignado a cada subconjunto está dado por:

$$\text{Cr}(X) = \sum_{X \dots Y} m(Y)$$

o sea : la creencia en un subconjunto X es la suma de la Masa Probabilística  $m$  (Y) asignada a todos los subconjuntos Y de X , o , más claramente: La credibilidad de X es la suma de las probabilidades  $m$  de todos los subconjuntos que implican a X .

Asumamos que, después de alguna investigación, el experto del caso ejemplo es capaz de asignar Masas Probabilísticas a todos los posibles escenarios, as:

| TABLA I                             |                        |   |     |
|-------------------------------------|------------------------|---|-----|
| La causa es $C_1$ ,                 | $m(\{C_1\})$           | = | 0.1 |
| La causa es $C_2$ ,                 | $m(\{C_2\})$           | = | 0.2 |
| La causa es $C_3$ ,                 | $m(\{C_3\})$           | = | 0.1 |
| La causa está entre $C_1$ y $C_2$ , | $m(\{C_1, C_2\})$      | = | 0.1 |
| La causa está entre $C_1$ y $C_3$ , | $m(\{C_1, C_3\})$      | = | 0.1 |
| La causa está entre $C_2$ y $C_3$ , | $m(\{C_2, C_3\})$      | = | 0.3 |
| La causa es una de las tres,        | $m(\{C_1, C_2, C_3\})$ | = | 0.1 |
|                                     | $\sum m(X)$            | = | 1.0 |

Obsérvense dos asuntos acerca de la asignación de Masa Probabilística :

1- Una masa probabilística no es lo mismo que una probabilidad, porque, por ejemplo, sabemos que la probabilidad de que uno de los tres sea culpable es uno, pero la Masa asignada a la alternativa  $\{C_1, C_2, C_3\}$  es solamente 0.1

2- Como lo exige la condición i i ) vista antes, la suma de las Masas Probabilísticas es uno.

Usando las Masas Probabilísticas asignadas por el experto, podemos determinar su grado de creencia:

"La causa es  $C_1$ " es  $\text{Cr}(\{C_1\}) = 0.1$  ya que el conjunto  $\{C_1\}$  no tiene subconjuntos propios.

"La causa es  $C_2$ " es  $\text{Cr}(\{C_2\}) = 0.2$  por la misma razón.

"La causa es  $C_3$ " es  $\text{Cr}(\{C_3\}) = 0.1$  por la misma razón.

Para los otros casos usamos la relación entre la Credibilidad y la Masa Probabilística:

$$\begin{aligned} \text{Cr}(\{C_1, C_2\}) &= m(\{C_1\}) + m(\{C_2\}) + m(\{C_1, C_2\}) \\ &= 0.1 + 0.2 + 0.1 = 0.4 \end{aligned}$$

y similarmente :

$$\text{Cr}(\{C_1, C_3\}) = 0.3$$

$$\text{Cr}(\{C_2, C_3\}) = 0.6$$

$$\text{Cr}(\{C_1, C_2, C_3\}) = 1$$



Sin embargo, no basta con calcular estos valores, porque ellos tan solo dan una distribución de la incertidumbre sobre un conjunto de eventos posibles. Esperamos que a medida que consigamos más evidencia, la distribución de valores de creencia comience a indicar una solución específica o al menos un subconjunto pequeño que contenga la solución. Los valores calculados hasta aquí simplemente indican que tal vez  $C_2$  es una buena candidata ya que todos los subconjuntos de alternativas que contienen a  $C_2$  poseen mayores valores de creencia que subconjuntos equivalentes en los que  $C_2$  no figura.

#### UTILIZACION DE LOS VALORES DE CREENCIA

Cualquier subconjunto  $X$  con un valor de masa diferente de cero ( $m(X) > 0$ ) se denomina un **elemento focal** de la función de creencia. La unión de todos los elementos focales se denomina **núcleo** de la función de creencia, y consiste de todos los elementos que contribuyen a la creencia total.

Las funciones de creencia, además de representar grados de creencia e ignorancia, también se usan para representar diferentes niveles de **incertidumbre**. Por ejemplo, la creencia de que la respuesta correcta está en el conjunto  $X$  es cierta y precisa si se cumplen las tres condiciones siguientes:

- 1)  $m(X) = 1$
- 2)  $m(Y) = 0$  si  $B \neq A$
- 3)  $X$  es un subconjunto que contiene solo un elemento

o sea que si se asigna toda la masa probabilística a un solo elemento no existe incertidumbre en la creencia. ( en el ejemplo, si el experto asigna una masa probabilística de uno a  $\{C_2\}$  y cero a los otros subconjuntos, ello indicaría que el experto está seguro de que  $\{C_2\}$  es la causa de la falla.

Por otra parte, si se cumplen las siguientes relaciones:

- 1)  $m(X) = 0$
- 2)  $m(Y) = 0$  si  $B \neq A$
- 3)  $X$  es un subconjunto que contiene más de un elemento

esto representa una situación de incertidumbre, por ejemplo, si en nuestro caso el experto asigna una masa probabilística de 1 al conjunto  $\{C_2, C_3\}$  y cero a los otros subconjuntos, él está seguro de que la causa de la falla es una de esas dos, pero es incapaz de determinar exactamente cual de ellas.

Se dice que una creencia es **consonante** si la evidencia es tal que los elementos focales forman una secuencia de la forma :

$$X_1 \quad X_2 \quad X_3 \quad \dots \quad X_n$$

en este caso la evidencia es consistente. En nuestro caso, si se asignaran, por ejemplo :

$$\begin{array}{ll} m(\{C_1\}) = 0 & Cr(\{C_1\}) = 0 \\ m(\{C_2\}) = 0.2 & Cr(\{C_2\}) = 0.2 \end{array}$$

$$\begin{aligned}
 m(\{C_3\}) &= 0 & Cr(\{C_3\}) &= 0 \\
 m(\{C_1, C_2\}) &= 0 & Cr(\{C_1, C_2\}) &= 0.2 \\
 m(\{C_1, C_3\}) &= 0 & Cr(\{C_1, C_3\}) &= 0 \\
 m(\{C_2, C_3\}) &= 0.4 & Cr(\{C_2, C_3\}) &= 0.6 \\
 m(\{C_1, C_2, C_3\}) &= 0.4 & Cr(\{C_1, C_2, C_3\}) &= 1
 \end{aligned}$$

tendríamos una **creencia consonante** y la secuencia sería :

$$\{C_1, C_2, C_3\} \quad \{C_2, C_3\} \quad \{C_2\}$$

### LA REGLA DE DEMPSTER

Basándose en diferentes evidencias, podemos generar varias listas de Credibilidades. La **regla de Dempster** permite combinar esas Credibilidades en una sola. Se comienza con dos series de Masas Probabilísticas, asignadas para el mismo conjunto de eventos posibles, pero basadas en dos evidencias diferentes, se genera una Masa Probabilística compuesta que se usa luego para calcular la Credibilidad compuesta, la cual ya se fundamenta en las dos evidencias.

Representando las Masas Probabilísticas asignadas según la primera evidencia por  $m_1(A)$ , y las asignadas basándonos en la segunda evidencia por  $m_2(A)$ , la regla de combinación de Dempster da la Masa Probabilística combinada como :

$$m(A) = \frac{\sum_{A_i \ll A_k = A} m_1(A_i) m_2(A_k)}{1 - \sum_{A_i \ll A_k = \emptyset} m_1(A_i) m_2(A_k)}$$

como el denominador debe ser diferente de cero, entonces debe ser :

$$\sum_{A_i \ll A_k = \emptyset} m_1(A_i) m_2(A_k) < 1$$

esta sumatoria representa la cantidad de masa probabilística que está distribuída en subconjuntos que no se intersectan (subconjuntos que no tienen nada en común). Si esto sumara uno, ello indicaría que toda la masa probabilística para cada creencia individual está asignada a subconjuntos que no se intersectan, o, en otras palabras, las dos creencias individuales no tienen nada en común: son totalmente contradictorias y no es factible combinarlas en una sola Credibilidad. El proceso de cálculo comienza por calcular el denominador de la fórmula para  $m(A)$ .

Si en nuestro ejemplo, luego de haber asignado a las masas probabilísticas los valores de la Tabla I basándonos en una primera evidencia, tenemos una segunda evidencia, según la cual asignamos los valores mostrados en la Tabla II :

|   |
|---|
| TABLA II Asignaciones según una segunda evidencia |
|---|

|                                     |                          |   |       |
|-------------------------------------|--------------------------|---|-------|
| La causa es $C_1$ ,                 | $m_2(\{C_1\})$           | = | 0.2   |
| La causa es $C_2$ ,                 | $m_2(\{C_2\})$           | = | 0.1   |
| La causa es $C_3$ ,                 | $m_2(\{C_3\})$           | = | 0.05  |
| La causa está entre $C_1$ y $C_2$ , | $m_2(\{C_1, C_2\})$      | = | 0.3   |
| La causa está entre $C_1$ y $C_3$ , | $m_2(\{C_1, C_3\})$      | = | 0.05  |
| La causa está entre $C_2$ y $C_3$ , | $m_2(\{C_2, C_3\})$      | = | 0.1   |
| La causa es una de las tres,        | $m_2(\{C_1, C_2, C_3\})$ | = | 0.2   |
| $\sum m(X)$                         |                          |   | = 1.0 |

entonces, basados en los subconjuntos que no se intersectan, calculamos :

$$\sum_{A_i \ll A_k = \emptyset} m_1(A_i) m_2(A_k) = 0.245$$

y por lo tanto, el denominador de la expresión para  $m(A_1)$  es  $1 - 0.245 = 0.755$

luego se calcula el numerador para cada posibilidad, según subconjuntos que se intersecten, por ejemplo para  $C_1$  da: 0.17 , entonces  $m(\{C_1\}) = 0.17/0.755 = 0.225$

Así sucesivamente se calculan los demás numeradores y se dividen por 0.755, lográndose todos los valores  $m(A)$  , y por último, a partir de esos valores se calculan las Credibilidades  $Cr(A)$  .

Los resultados para el ejemplo se presentan en la Tabla III, según lo cual la causa más sospechosa entre  $C_1, C_2$  y  $C_3$  según ambas evidencias combinadas resulta ser  $C_3$  .

|                               |                             |
|-------------------------------|-----------------------------|
| $m(\{C_1\}) = 0.225$          | $Cr(\{C_1\}) = 0.225$       |
| $m(\{C_2\}) = 0.219$          | $Cr(\{C_2\}) = 0.219$       |
| $m(\{C_3\}) = 0.25$           | $Cr(\{C_3\}) = 0.25$        |
| $m(\{C_1, C_2\}) = 0.105$     | $Cr(\{C_1, C_2\}) = 0.58$   |
| $m(\{C_1, C_3\}) = 0.04$      | $Cr(\{C_1, C_3\}) = 0.484$  |
| $m(\{C_2, C_3\}) = 0.131$     | $Cr(\{C_2, C_3\}) = 0.6$    |
| $m(\{C_1, C_2, C_3\}) = 0.03$ | $Cr(\{C_1, C_2, C_3\}) = 1$ |

Si tuvieramos una tercera evidencia, sus valores  $m_3$  se podrían combinar de la misma manera .

## 7.6. CONCLUSIONES

Actualmente no existe un único método aceptado por todos para tratar la incertidumbre y el razonamiento aproximado; cada método tiene sus defensores y sus críticos con argumentos más o menos convincentes. Sin embargo existen varias técnicas que dan resultados aceptables, y se implementan en las herramientas para desarrollo de SS. EE. Al aplicar uno de los métodos, se debe conocer si para el caso que nos interesa, se cumple alguna condición necesaria para que el método de tratamiento de la incertidumbre si es adecuado.

Los valores numéricos con que se representa la certidumbre de hechos o y reglas se prestan para distintas interpretaciones según las personas, por ejemplo :

- a) - Fracción ( o porcentaje ) de los expertos que tienen consenso sobre el hecho .
- b) - Frecuencia o probabilidad de que ocurra el hecho, basándose en la experiencia.
- c) - Grado subjetivo de confianza que tiene el experto sobre el hecho individual.

Según ciertos investigadores<sup>1</sup> , las personas son mucho mejores para estimar frecuencias de hechos basándose en la experiencia (caso b) que para estimar la certeza de hechos individuales (caso c)<sup>2</sup> .

Un paquete de software para el desarrollo de SS.EE. debería permitir al usuario escoger el método adecuado para manejar la incertidumbre.

Debe tenerse precaución al sacar estimaciones de certeza a partir de opiniones, ya que hay tendencia a polarizarse o no ser objetivo, por razones que estudia la psicología. Por ejemplo, tenemos tendencia a sobreestimar la probabilidad o certidumbre de aquello que recordamos con más facilidad. Para mejorar estas estimaciones se puede recurrir al uso de gráficos, en los cuales sobre una escala marcamos el grado de certeza que se tiene sobre un hecho dado .

Una ayuda para llegar a estimar valores numéricos de certeza o probabilidad aproximada es no tratar inicialmente de asignar los valores numéricos, sino comenzar por solicitar al experto que ordene los hechos o reglas según la certeza que tenga sobre cada hecho o regla , para después calibrar los valores numéricos.

Para el tratamiento a profundidad de métodos numéricos para el manejo de la incertidumbre, se puede estudiar la obra de Kruse, Schwecke y Heinsohn, referenciada en la bibliografía del presente curso.

## 8. DESARROLLO DE UN SISTEMA EXPERTO

La adopción de la metodología de Sistemas Expertos para atacar un problema debe hacerse después de considerar otras alternativas de computación más tradicionales, como lo ilustra el siguiente diagrama :

---

<sup>1</sup> Egon Brunswik, Leda Cosmides, John Tooby, Gerd Gigerenzer

<sup>2</sup> Ver: "A critique of pure reason", revista The Economist, julio 4 de 1992, pp. 81-82



Como guía para decidir nuestra orientación por sistemas expertos, contamos con los criterios de aplicabilidad (vistos en la sección 2.3 ) y con los tipos de aplicación para los cuales han sido más adecuados estos sistemas.

## 8.1. EQUIPO HUMANO: ROLES Y PERFILES

En el desarrollo convencional de un sistema experto, existen los siguientes protagonistas :

- El Experto

- Provee el conocimiento del dominio y de la tarea específica.
- Trata de explicar (verbalizar) sus métodos y conocimientos.

El experto debe tener estas cualidades:

- Estar muy familiarizado con su especialidad.
- Tener experiencia real, adquirida con la práctica a través del tiempo.
- Tener excelentes relaciones con quien(es) desarrollará(n) el S.E.
- Tener conocimientos sobre el ambiente organizacional y los usuarios que utilizarán el sistema.
- Estar dispuesto a dedicar un buen porcentaje de su tiempo al desarrollo del S.E.
- Ser colaborador para trabajo en equipo, y tener deseos de trabajar en el proyecto.
- Tener en su especialidad una reputación tal que si se lograse capturar una buena porción de sus conocimientos, las conclusiones del sistema tendrían una base de credibilidad.
- Tener buena capacidad de introspección y de comunicar a otros sus conocimientos y las razones de sus juicios, y ser

- honesto a este respecto.
- Apreciar los sistemas automatizados.
- Tener paciencia.
- Tener capacidad de enseñar.
- Ser buen comunicador ( escuchar y conversar ).
- Ser persistente.
- El formalizador o "Ingeniero" del Conocimiento (I.C.)
  - Ayuda al experto en la labor de explicar los conocimientos.
  - Codifica los conocimientos en la representación adecuada a la herramienta de desarrollo.
  - Conoce las fortalezas y debilidades de las herramientas y metodologías.
  - Aprende las particularidades de: El dominio, la tarea específica y del ambiente donde se utilizará el S.E. , a partir de la Administración, los expertos y los usuarios.
  - Analiza los procedimientos del experto
  - Detecta inconsistencias.
  - Refina la B.C. por medio de la realización de pruebas.

El perfil del ingeniero de conocimiento puede ser el correspondiente a: Analista de sistemas, ingeniero de sistemas, o psicólogo cognoscitivo.

Cualidades deseables :

- Aprender rápidamente
- Ser buen comunicador
- Tener buenas relaciones interpersonales
- Escuchar eficazmente
- Conocer técnicas de adquisición de conocimientos
- Conocer la tecnología de los SS.EE.
- Ser organizado y conservador de información
- Tener buena capacidad de análisis.
- Es conveniente que tenga conocimientos de otros dominios.
- El Usuario
  - Normalmente no es un experto.
  - Puede ser un aprendiz del dominio o, en algunos sistemas, una persona cualquiera.
- La Administración
  - Identifica el problema.
  - Aprueba la realización del proyecto.
  - Asigna los recursos.

Adicionalmente, a veces se incorpora al grupo de desarrollo un "aprendiz de I.C.", con el objeto de formar más personal con entrenamiento en la tecnología, y tener apoyo para el mantenimiento futuro del S.E. con alguien que presencié su desarrollo.

## 8.2. ADQUISICION DEL CONOCIMIENTO

Al desarrollar un S.E. no se prescribe "Qué hacer", en el sentido de la programación tradicional, sino que se describe "**Qué saber**". La tarea es: **describir, depurar, formalizar y transcribir el conocimiento**; no escribir y depurar un programa.

El proceso de adquirir el conocimiento se basa en descubrir los atributos del problema a los cuales el experto dedica su atención, y poner de forma explícita las reglas que el experto utiliza para la interpretación de esos atributos y para la toma de decisiones.

## DIFICULTADES EN LA ADQUISICION DE CONOCIMIENTOS

El proceso de adquirir el conocimiento para un S.E. presenta varias dificultades, por ejemplo :

### A - INADECUACION DE LA REPRESENTACION

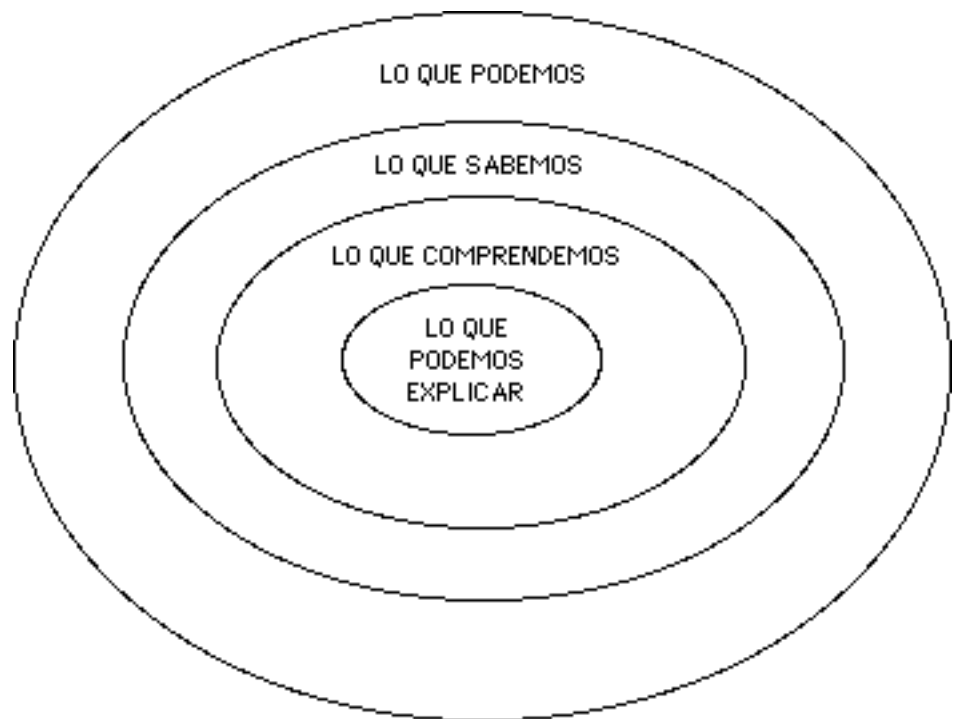
originada en la diferencia entre la manera como un experto expresa normalmente sus conocimientos, y la manera como esos conocimientos deben representarse en el programa.

### B - LIMITACIONES DE LA ACTUAL TECNOLOGIA DE S.E. Y SUS METODOS DE ADQUISICION DE CONOCIMIENTOS.

Los métodos aún tienen más de arte que de ingeniería, a pesar de hablarse de "ingeniería del Conocimiento"

### C - DIFICULTAD PARA EXPRESAR EL CONOCIMIENTO POSEIDO

porque, como lo expresó el fisiólogo y filósofo del método científico Claude Bernard : " Podemos más de lo que sabemos , sabemos más de lo que comprendemos , y comprendemos más de lo que podemos explicar " .



Y precisamente, para codificar los conocimientos del experto necesitamos poder explicar sus razones.

Los expertos frecuentemente no siguen el razonamiento "lineal" que aparece en los textos. Ellos tienden a reconocer "patrones" o "configuraciones", lo que les posibilita utilizar de manera muy rápida conocimientos compilados a través de la experiencia, sin necesidad de reflexionar sobre los pasos involucrados

El conocimiento del experto se almacena "subconscientemente", y esto agrega poder al experto, pero al mismo tiempo dificulta esa transferencia de conocimientos requerida para implementar una B. C. Un experto puede tener

más dificultad que un principiante para explicar sus acciones debido a que mucho de lo que hace ya tiene sus razones en el subconsciente.

Fuera de las anteriores dificultades de índole general, según el tipo de problema, se pueden presentar, en general otras dificultades, para las cuales el I.C. debe estar alerta. Veamos algunas de estas dificultades según tipo de problema:

- INTERPRETACION: Análisis de datos para determinar su significado.

Dificultades típicos :

- Los datos a menudo poseen ruido y errores.
- Pueden faltar datos .

- DIAGNOSTICO : Determinar la falla basándose en la interpretación de los datos.

Dificultades típicos :

- Las fallas pueden ser intermitentes.
- Puede haber múltiples fallas, cuyos síntomas pueden interferir.
- Los datos contienen errores.
- Hay datos deseables pero inaccesibles.
- El equipo de medición o diagnóstico puede no ser confiable.

- PREDICCIÓN: Determinación de lo que probablemente ocurrirá .

Dificultades típicos :

- Información incompleta.
- Múltiples escenarios futuros posibles.
- Contingencias e incertidumbres.
- Diversidad de datos, a menudo contradictorios.

- PLANEACION: Crear un plan para conseguir determinados objetivos.

Dificultades típicos :

- Muchos cursos de acción alternativos.
- Excesivo volumen de detalles.
- Desconocimiento parcial del contexto para el que se planea.

- DISEÑO: Concebir las especificaciones para crear objetos que satisfagan requerimientos particulares.

Dificultades típicos :

- Dificultad para evaluar las consecuencias.
- Varias restricciones y objetivos contradictorios.
- Interacción entre sub-diseños.

### 8. 3. PROCESO DE CAPTURA Y CODIFICACION DE CONOCIMIENTOS

El objetivo de desarrollar un S.E. es transferir conocimiento de un experto humano al computador, y luego permitir que ese conocimiento sea utilizado por otra(s) persona(s). Este proceso involucra dos actividades básicas:

- **Captura del conocimiento a partir del experto.**

- **Representación del conocimiento en el computador.**

La etapa de CAPTURA o Adquisición de conocimiento comprende la acumulación, transferencia y transformación de la experiencia en solución de problemas al S. E. para construir, depurar o ampliar la Base de Conocimientos (B.C.). Las fuentes posibles de conocimientos incluyen, por ejemplo: Los expertos humanos, los libros, los manuales, las bases de datos, estudios o informes especiales, y la experiencia del propio usuario.

Se recomienda tener una perspectiva amplia respecto a los recursos a utilizar para la adquisición de conocimientos, tanto en cuanto a posibles fuentes de información, como a posibles técnicas o metodologías. El evitar sistemáticamente ciertas técnicas tiene la desventaja de que nunca nos permitirá desarrollar experiencia de primera mano con esas técnicas .



### 8.3.1. LABORES PREPARATIVAS DE LA ADQUISICION DE CONOCIMIENTOS

#### 1- ESTABLECIMIENTO DE INSTALACIONES FISICAS

- Se define la sala para las entrevistas
- Se define el equipamento (muebles, grabadora, ayudas, etc.)

#### 2 - PROGRAMACION DE LA ADQUISICION DE CONOCIMIENTOS

- Se definen los procedimientos de conservación de la información.
- Se definen las técnicas que se utilizarán con el experto.
- Se definen los procedimientos de revisión
- Se definen los roles de los participantes

#### 3 - ORIENTACION DEL EXPERTO

- Se orienta y se motiva al experto para las tareas a realizar

#### SALA DE SESION O DE ENTREVISTAS

Para el lugar donde se realiza el proceso, se recomienda lo siguiente :

- Capacidad mínima de tres personas.
- Mesa y sillas.
- Grabadora o videocámara, ojalá camufladas.
- Sin telefono, para evitar distracciones.
- Aislamiento de otros distractores ( Ej: ruido )

#### MOTIVACION DEL EXPERTO

Un mecanismo para mejorar la colaboración del experto es involucrarlo en el proyecto desde la primera etapa del desarrollo. El hecho de que el experto trabaje participe en la evolución del concepto y la concepción del sistema sirve para darle a él un sentido de pertenencia. En lo posible se debe desarrollar rápidamente un prototipo funcional para probarlo con el experto.

### 8.3.2. ETAPAS Y METODOLOGIAS PARA LA ADQUISICION DE CONOCIMIENTOS

La Adquisición del Conocimiento es el proceso por el cual los desarrolladores de SS.EE. encuentran los conocimientos que los expertos utilizan para desarrollar la tarea de interés. Estos conocimientos son luego representados internamente en el computador para que el S.E. los utilice.

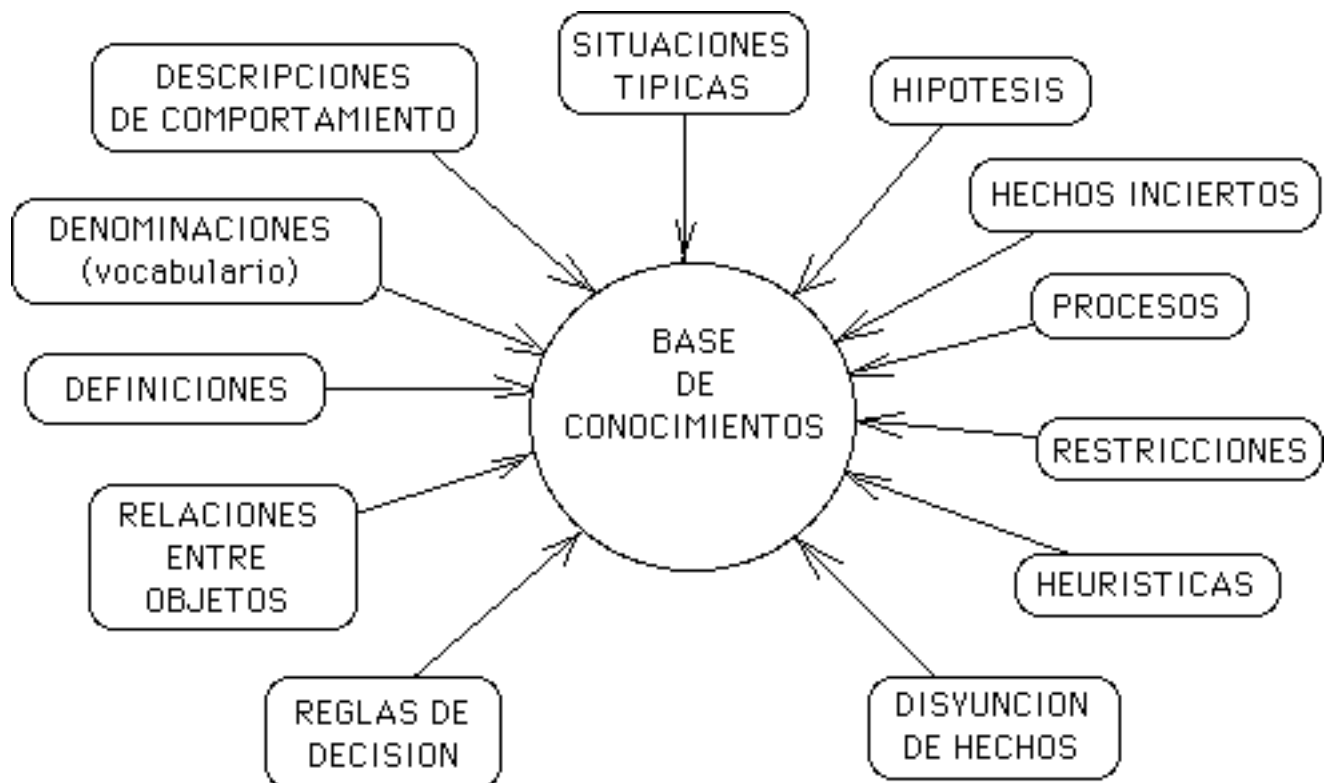
Dado que el conocimiento es la parte esencial de un S.E. , entonces la Adquisición del Conocimiento es la tarea más importante en el desarrollo de un S.E.

La técnicas que se utilizan deben ser adaptadas por los desarrolladores, según la situación particular.

Adquirir el conocimiento es una tarea compleja, que crea un "cuello de botella" durante la construcción de un S. E. El actual "estado del arte" requiere que el formalizador (ingeniero) del conocimiento (I.C.) interactúe con uno o más expertos para construir la B.C.

Los conocimientos que hay que representar en el S.E., se presentan bajo diversas formas, como lo ilustra el gráfico siguiente.

#### DIFERENTES CLASES DE CONOCIMIENTO APORTADOS POR EL EXPERTO



El proceso de adquirir el conocimiento para un S. E. tiene similitud con un proceso de destilación , porque se deben aislar los conocimientos esenciales, separándolos de otra información que no es tan significativa , para luego formularlos como hechos y reglas .

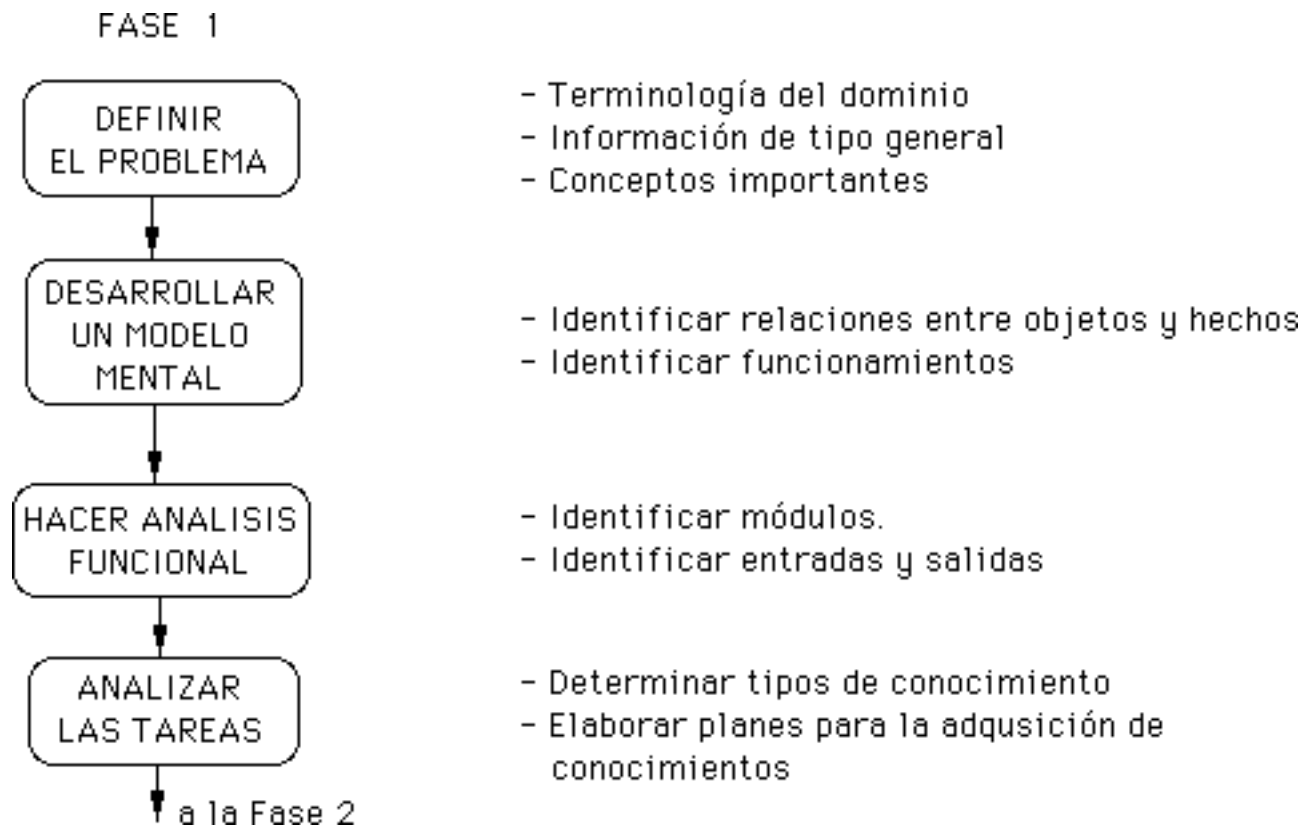
Normalmente, el I.C. ayuda al experto a estructurar el dominio del problema y su solución, recurriendo a varias acciones :

- Interpretando las respuestas a preguntas.
- Integrando las respuestas y otros conocimientos.
- Proponiendo analogías.
- Proponiendo antieejemplos.
- "Poniendo sobre el tapete" dificultades conceptuales.

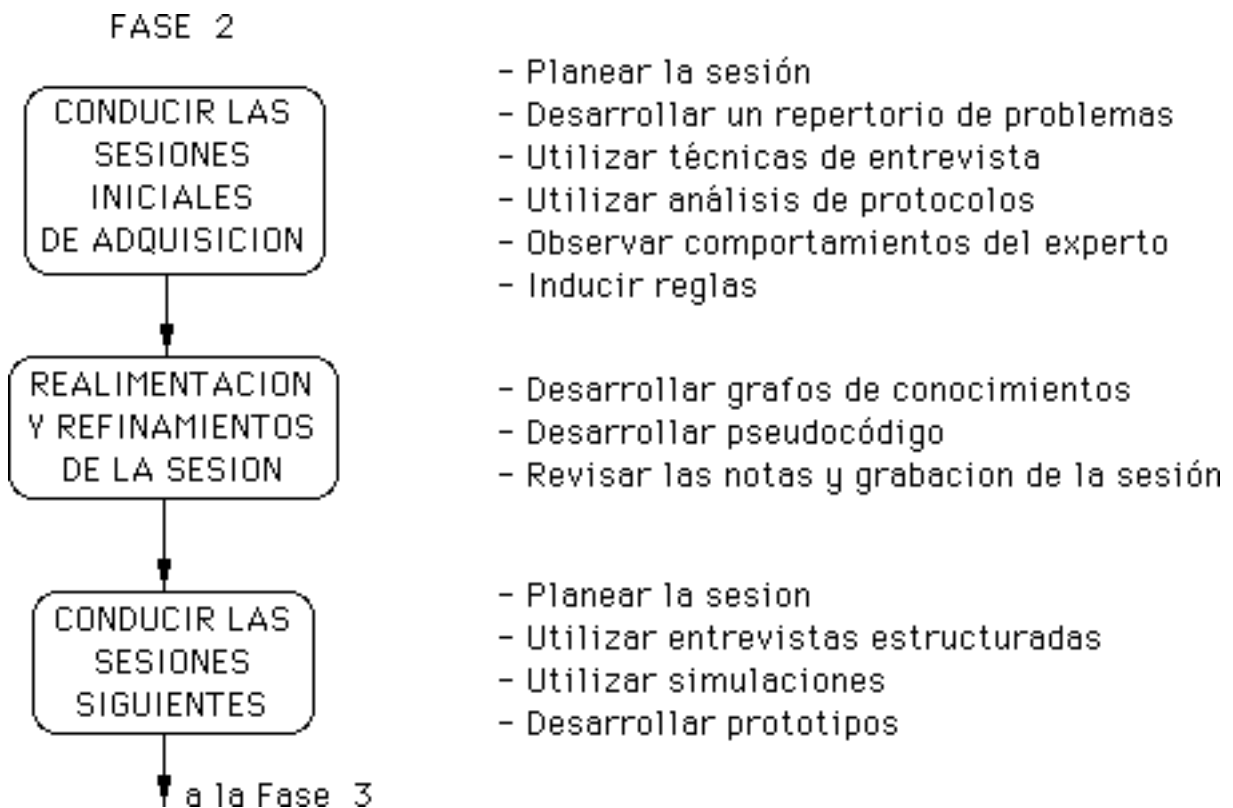
La tarea de codificar el conocimiento no consiste en una sencilla tarea de "agregar reglas", pues en este proceso pueden ocurrir cosas como :

- Encadenamiento de reglas sin-fin
- Introducción de contradicción entre reglas.
- Necesidad de modificar reglas existentes.

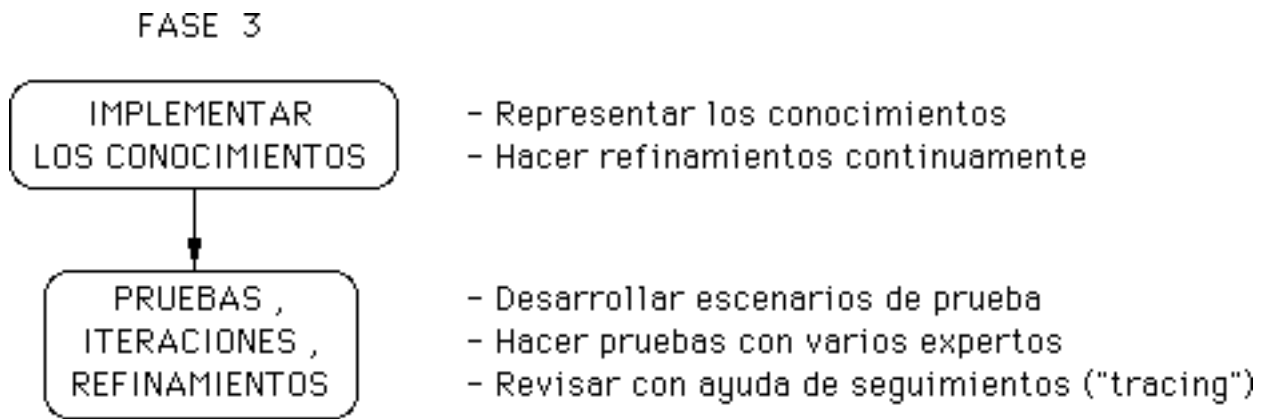
Los siguientes 3 gráficos ilustran a grandes rasgos las etapas de la adquisición de conocimientos por parte del I.C.



Se estima que durante esta FASE 1 , un 80 % depende del Ingeniero del Conocimiento, y tan sólo un 20% del experto. La primera etapa de esta fase incluye la familiarización con el dominio, de parte del ingeniero del conocimiento, para lo cual se realiza básicamente lo siguiente : Se conviene en mantener una información centralizada. Se elabora un glosario con los términos del dominio. Se intercambian conocimientos entre los miembros de grupo



En las etapas de la Fase 2, la participación del I.C. y la del experto deben ser aproximadamente equilibradas, cada uno 50%.



Durante esta tercera Fase de la adquisición de conocimientos, el I.C. vuelve a tener una participación del orden de 80%, mientras que la del experto es de un 20%.

El proceso se puede discriminar en las siguientes etapas, obteniéndose los productos indicados, y haciendo una evaluación después de cada etapa:

| ETAPA                                    | PRODUCTO                               |
|--|--|
| A - ANALISIS DE LA SOLICITUD DEL CLIENTE | Definición de objetivos funcionales    |
| B - ENTREVISTAS NO ESTRUCTURADAS         | Conocimientos fundamentales            |
| C - ANALISIS CONCEPTUAL                  | Estructura de la Base de Conocimientos |
| D - ANALISIS DEL DOMINIO                 | Relaciones de los conocimientos        |
| E - ANALISIS DE LA SOLUCIONES            | Estrategias y reglas de solución       |
| F - ENTREVISTAS ESTRUCTURADAS            | Datos específicos                      |
| G - PROTOTIPO                            | Simulaciones, pruebas                  |

#### EVALUACION DE LOS OBJETIVOS DE CADA ETAPA

Después de cada etapa se hace una evaluación acerca de si se han logrado los objetivos de la etapa, en caso afirmativo se procede a la etapa siguiente, en caso negativo habrá que retornar a alguna etapa anterior, como se indica, según la deficiencia detectada:

| PROBLEMA                                | ETAPA A REPASAR                                  |
|---|--|
| Resultados incompletos                  | Prototipo  |
| Falta de claridad                       | Entrevistas estructuradas                        |
| Descripción inadecuada de la solución   | Análisis de soluciones                           |
| Organización inadecuada del dominio     | Análisi del dominio                              |
| Estructura del dominio inapropiada      | Análisis conceptual                              |
| Conocimientos fundamentales incompletos | Entrevista no estructurada                       |
| Otro                                    | Replanteamiento de especificaciones del problema |

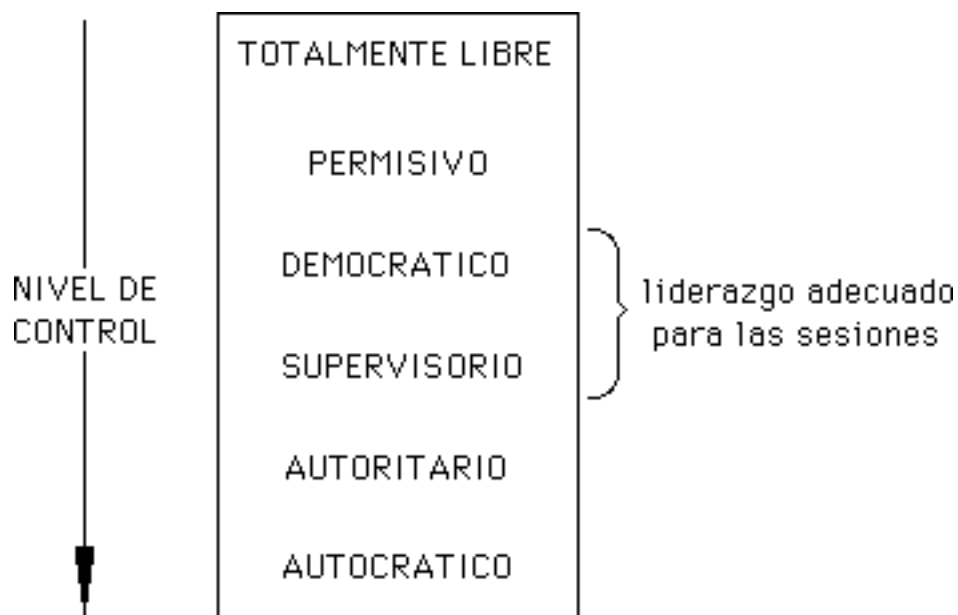
### 8.3.3. LA SESION DE ADQUISICION DE CONOCIMIENTOS

Cada sesión de adquisición de conocimientos se compone de :

- Planeación de la sesión, en la que se debe invertir del orden de 40% del tiempo.
- Ejecución de la sesión, a la cual se dedica del orden de 15% del tiempo.
- Revisión de la sesión, la cual requiere un 45% del tiempo

El liderazgo del ingeniero del conocimiento para conducir la sesión, según su nivel de control de las actividades, podría ir desde la total libertad hasta la autocracia, siendo ambos extremos inadecuados. Se debe trabajar con cierto nivel de democracia, pero con una supervisión que asegure que la sesión no se desvía de los objetivos para los cuales se planeó.

#### NIVELES DE CONTROL DE LA SESION DE PARTE DEL INGENIERO DEL CONOCIMIENTO



La sesión de adquisición de conocimientos, propiamente dicha, tiene las siguientes etapas :

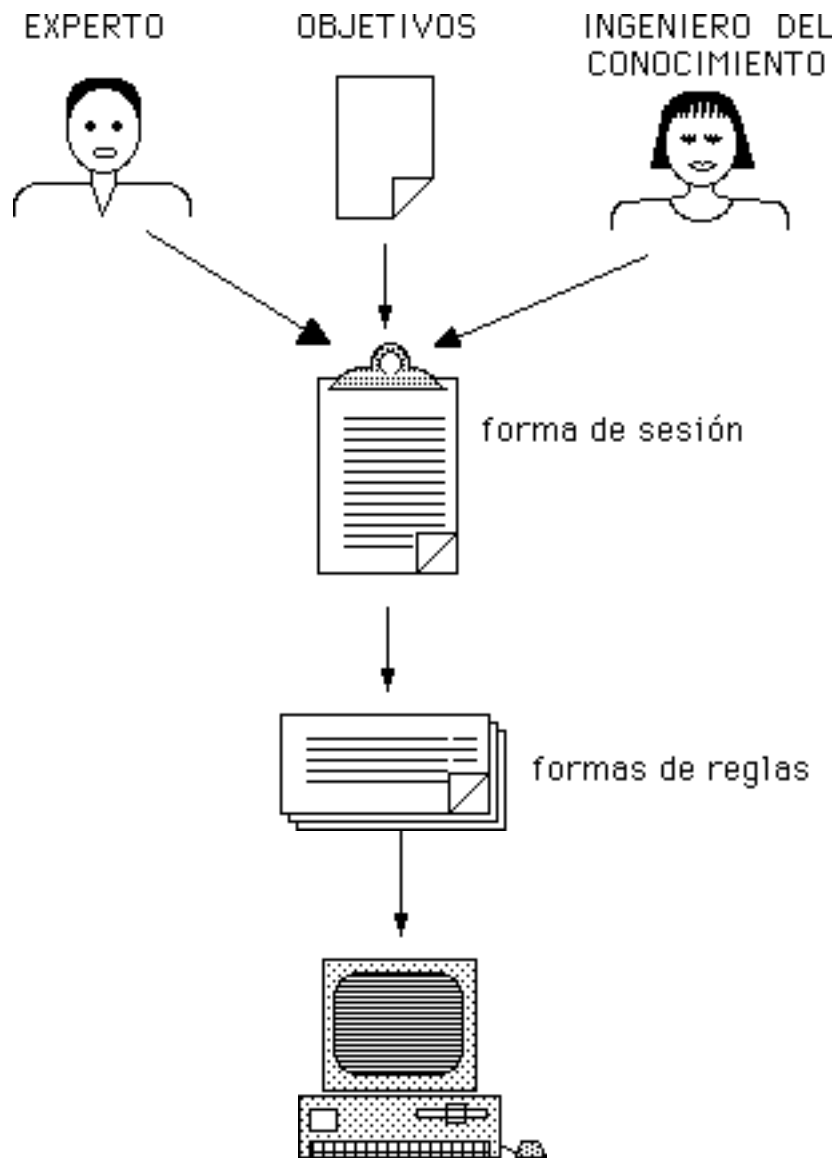
1 - INTRODUCCION :

- Resumen de la sesión anterior si la hubo.
- Presentación de la actual sesión (objetivo, técnicas, duración aproximada, etc.)

2 - ADQUISICION DE CONOCIMIENTOS APLICANDO LAS TECNICAS SELECCIONADAS

3 - CONCLUSION :

- Resumen de la sesión
- Repaso de los hallazgos
- Solicitudes de aclaración
- Solicitudes de extensión
- Expresión de agradecimiento hacia el experto
- Información sobre qué seguirá en la próxima sesión









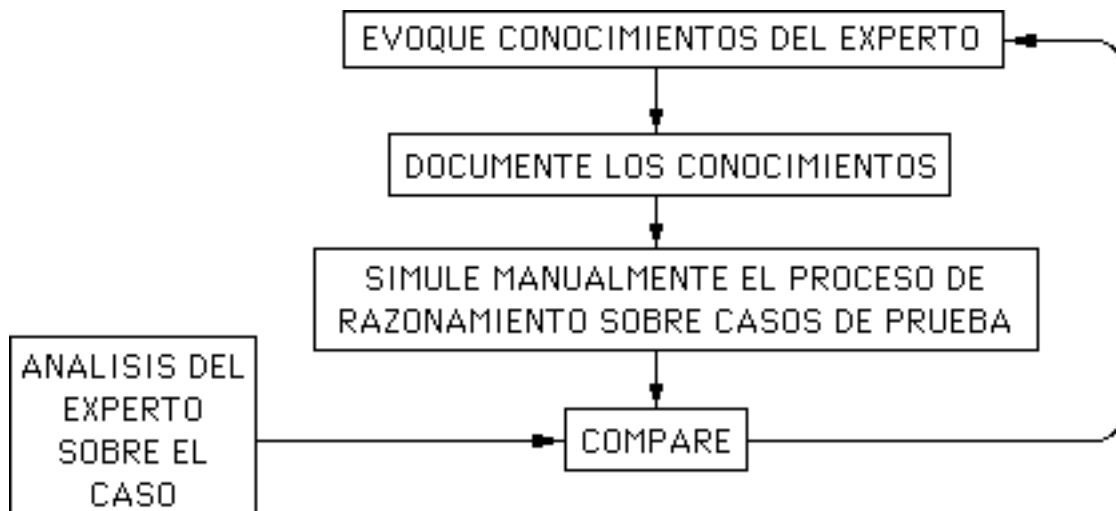


Las siguientes son recomendaciones prácticas para las sesiones de adquisición de conocimientos :

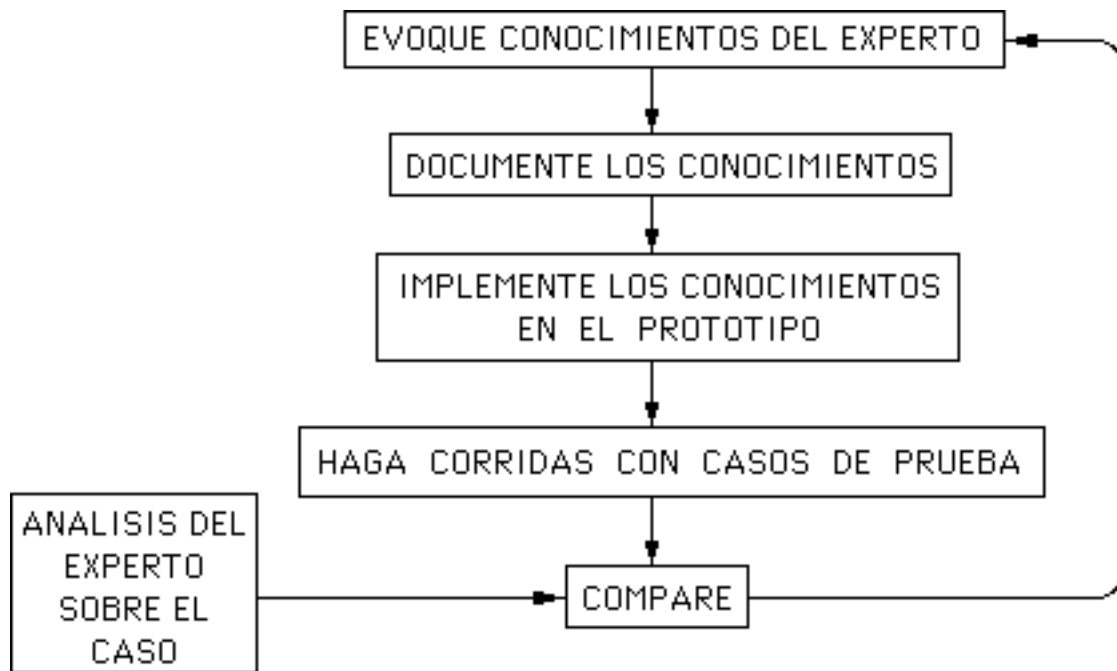
- 1 - Procure que la sesión no se desvíe de los objetivos. Si surge algo importante pero no pertinente, mejor programe su exámen para otra sesión.
- 2- Se debe comenzar por la adquisición de conocimientos de base sobre el dominio y la tarea. Por medio de la documentación escrita (libros, manuales, etc...) y de charlas tutoriales del experto, el (o los) ingeniero(s) del conocimiento se capacitan y familiarizan con el dominio o especialidad y con la tarea específica que realiza el experto y deberá realizar el nuevo S. E. Inicialmente serán conocimientos generales sobre conceptos, terminología y modelos utilizados en el dominio, sin concentrarse todavía en la tarea específica.
- 3 - Es útil preparar un documento tutorial o instructivo sobre el dominio, en caso de que no esté disponible uno equivalente. Este es útil tanto en el período inicial de desarrollo, como para capacitar personal que se una al proyecto más tarde, o que deberá encargarse del mantenimiento .
- 4 - A veces, la primera semilla de la B. C. se puede formar a partir de la documentación escrita disponible ( libros, manuales, etc... ) .

#### CICLO DE ADQUISICION Y PRUEBA

El ciclo consiste en : Evocar conocimientos, documentarlos y probarlos . Si se tiene una base de conocimientos pequeña, se puede hacer una "simulación manual" del proceso de razonamiento :



A partir de cierto momento se deben hacer las pruebas directamente con el prototipo, para lo cual es necesario implementar los conocimientos en dicho prototipo :



Para expandir la Base de Conocimientos inicial, el S. E. en desarrollo se debe enfrentar a un número cada vez mayor de casos , verificando constantemente que el sistema es capaz de resolver satisfactoriamente esos casos . Una técnica que se puede usar es modificar los casos de prueba iniciales para generar variantes que se someten al S.E. Una variante puede consistir en alterar el valor de un parámetro del problema, llevándolo hacia uno de sus extremos, o en suponer que no se dispone de cierta información.

Con base en todos los puntos de desacuerdo con el experto, se debe modificar y expandir la B. C. hasta que el sistema esté en capacidad de razonar correctamente frente a todos los casos de prueba y sus variantes .

La documentación del sistema en desarrollo debe mantenerse actualizada continuamente ( por ejemplo diariamente ) , y todo el grupo de desarrollo debe recibir la ultima versión de la documentación.

A veces hay conceptos imprecisos, como : " suficiente cantidad " , "una gran cantidad " , que el experto tiene dificultad en determinar numéricamente, al menos inicialmente . En este caso puede ser mejor no forzar al experto a mayor precisión en ese momento. Posteriormente se puede volver sobre esos conocimientos para determinar cuanto es "suficiente" , o "gran cantidad"

## RECOMENDACIONES PARA LA TOMA DE NOTAS

- 1 - Antes de la entrevista **informe al experto que Ud. tomará notas**, y cómo piensa utilizarlas. Hágale llegar al experto el "plan de adquisición de conocimientos".
- 2 - Equípese con suficientes **utensilios** para tomar nota.
- 3 - **No esconda las anotaciones** de la mirada del experto .
- 4 - **Referencie las notas** a las secciones correspondientes de la entrevista para facilitar la revisión y la depuración.
- 5 - **Revise las notas pronto**. Ojalá dentro de las 48 horas siguientes a la sesión.
- 6 - **Documente el conocimiento** usando reglas en "cuasi-español" , para aislar bloques de conocimiento de una manera fácil de entender para todos los miembros del grupo.

- 7 - Desarrolle y utilice **convenciones** que ayuden a la claridad de los conocimientos documentados, por ejemplo : Uso de mayúsculas, sangrías, etc...
- 8 - **Agrupe las reglas** documentadas con cierta lógica , para una ágil búsqueda.
- 9 - Se recomienda **bautizar cada regla con un nombre descriptivo**, a pesar de que resulte un tanto largo, pues el uso exclusivo de numeración es inconveniente por lo cambiante que es el conjunto de reglas, en especial durante el desarrollo, lo cual obligaría a reenumerar continuamente el conjunto.
- 10 - Se recomienda adicionar a cada regla, en la documentación, información sobre el porqué se incluye, o el **contexto en el que se utiliza**. Esto es de gran utilidad con posterioridad para el mantenimiento del sistema

## RECOMENDACIONES PARA LAS GRABACIONES DE AUDIO O VIDEO

- 1 - Asegúrese de saber manejar el equipo.
- 2 - Al enviar al experto el plan para la(s) sesión(es) , infórmele si se grabará.
- 3 - Explique al experto porqué le gustaría grabar y cómo utilizará la grabación.
- 4 - Antes de la sesión, verifique que el equipo y su fuente de energía funcionan bien y tiene cinta suficiente.
- 5 - Verifique la sensibilidad al sonido o a la luz de la escena. Instale el equipo antes de la sesión.
- 6 - Para reducir la distracción, coloque los micrófono o la cámara ocultos o camuflados.
- 7 - Si el experto se opone a dejar grabado algo, apague el equipo.
- 8 - Apoye la grabación con anotaciones.
- 9 - Identifique cada cinta con referencia a la sesión en que se obtuvo.

Las principales técnicas usadas para la adquisición de conocimientos son: Las Entrevistas, El Análisis de protocolos, La Observación , y la Inducción de reglas .

## ENTREVISTAS

La forma más utilizada de adquisición de conocimientos se basa en hablar directamente con el experto, en una serie de entrevistas. Las entrevistas usualmente involucran al experto y a uno o dos I.C. El experto piensa en voz alta mientras el I.C. trata de entender como aquel razona, toma decisiones y llega a una conclusión.

La entrevista procura crear un contexto ( por ejemplo la solución de un caso ) en el cual el experto haga una exploración y explicación de sus conocimientos , y aportar medios para registrar esos conocimientos.

Para asegurar la exactitud de las observaciones, se recomienda grabar las entrevistas, luego transcribirlas, y hacerlas verificar por el experto .

Durante las entrevistas procure :

- 1 - Mantener la atención y el contacto visual con el experto.
- 2 - Crear un ambiente de amistad, haga que el experto se sienta confortable.

La adquisición se puede iniciar pidiéndole al experto que tome un caso de prueba y realice la tarea paso a paso, tratando de explicar en detalle cada decisión . Para mayor facilidad del experto, esta etapa puede apoyarse en un grabación , cuando el hecho de sólo tomar notas incomoda al experto por la lentitud que le implica esa copia por parte del ingeniero .

A menudo una decisión breve del experto, realmente involucra mucha información que debe implementarse dentro del computador.

## PREGUNTAS ABIERTAS Y CERRADAS

Las preguntas **cerradas** son las que en cierta medida delimitan las opciones de respuesta que se le dejan al experto, por ejemplo, preguntas que se encabezan por palabras interrogativas como :

Quien ...? Qué ...? Cuándo ...? Dónde ...?

Las preguntas **abiertas** son aquellas que no limitan las opciones de respuesta, sino que buscan una respuesta más libre, una explicación, por ejemplo las encabezadas por :

Discuta ...      Interprete ...      Explique ...  
 Evalúe ...      Compare ...      Qué pasa si ... ?

| EJEMPLOS DE PREGUNTAS ABIERTAS<br>CERRADAS                      | EJEMPLOS DE PREGUNTAS<br>CERRADAS                   |
|---|---|
| - Cómo funciona el sistema _____ ?                              | - Cual de estos planes considera Ud ?               |
| - Qué necesita Ud. saber antes de poder decidir ?               | - Cuales tipos de _____ considera Ud. más ?         |
| - Porque escogió _____ en lugar de _____ ?                      | - Hará esto que _____ aumente o disminuya ?         |
| - Qué Conoce Ud. acerca del sistema _____ ?                     | - Cual es la magnitud deseada para este parámetro ? |
| - Cual es su reacción general ante la afirmación de que _____ ? |   |

## TECNICAS PARA EVOCAR LOS CONCEPTOS DEL DOMINIO

- Solicitar definiciones:      Para comprender las relaciones entre conceptos.
- Comparar tareas y casos :    Ayuda para aislar rasgos importantes de los conceptos.
- Ejercicios de generalización : Ayuda a buscar conceptos primarios.
- Ejercicios de predicción:    Trata de ver las consecuencias de situaciones o acciones.

## TIPOS DE ENTREVISTAS PARA ADQUISICION DE CONOCIMIENTOS

- 1 - Entrevista sobre clasificación.
- 2 - Entrevista sobre un caso específico.
- 3 - Entrevista dirigida.
- 4 - Discusión de casos auxiliada con prototipo del sistema

## ENTREVISTAS DE CLASIFICACION

Con este tipo de entrevista , el I. C. busca conseguir una visión del modelo mental que posee el experto sobre el dominio del problema . Para entrevistas de este tipo se púeden usar técnicas de psicología para evocar esta clase de conocimientos. Una de tales técnicas es utilizar las "Matrices de Repertorio " (ingl.: "Repertory Grids") .

## Matrices de Repertorio

Las Matrices de Conceptos ( inglés: "Repertory Grids" ) son una técnica originada por George Kelly en 1955 para adquirir conocimientos sobre las construcciones mentales personales ( ing.: "personal constructs") de sus pacientes . Desde el decenio de 1980 , B.R. Gaines y M. L. G. Shaw comenzaron la adaptación de esta técnica a la adquisición de conocimientos a partir de expertos.

El tipo de caso que el experto resuelve se caracteriza por un conjunto de atributos, y cada caso particular posee ciertos valores determinados para esos atributos, a estos valores los denominaremos características del caso.

Por ejemplo, para el problema de aconsejar sobre inversiones, podemos considerar las siguientes características de cada caso

| ATRIBUTO DEL CASO               | CARACTERISTICA DEL CASO | OPUESTO    |
|---------------------------------|-------------------------|------------|
| Plazo del objetivo de inversión | Largo                   | Corto      |
| Actitud frente al riesgo        | Aversión                | Propensión |
| Nivel de capital                | Alto                    | Bajo       |

CARACTERISTICAS DE LOS CASOS

| ATRIBUTOS<br>CASOS | Plazo del objetivo de inversión     | Actitud frente al riesgo | nivel de capital |
|--------------------|-------------------------------------|--------------------------|------------------|
| María              | OBJETIVO DE INVERSION A LARGO PLAZO | TIENE AVERSION AL RIESGO | ALTO             |
| Juan               | OBJETIVO DE INVERSION A CORTO PLAZO | TIENE AVERSION AL RIESGO | MEDIO            |
| David              | OBJETIVO DE INVERSION A LARGO PLAZO | TOMADOR DE RIESGOS       | MEDIO            |

La tarea del experto consiste en hacer una selección definida entre varias alternativas. Cada selección posible posee un conjunto de atributos, y la selección específica que escoja el experto posee por lo tanto ciertos valores determinados para esos atributos, a estos valores los denominaremos propiedades de la selección.

Por ejemplo, para el problema de aconsejar sobre inversiones, podemos considerar las siguientes propiedades de cada selección.

| ATRIBUTO DE LA SELECCION | PROPIEDADES DE LA SELECCION | OPUESTO               |
|--------------------------|-----------------------------|-----------------------|
| Tributación              | Impuestos                   | Exención de impuestos |
| Plazo de Inversión       | Largo                       | Corto                 |
| Nivel de Riesgo          | Alto                        | Bajo                  |
| Capital requerido        | Alto                        | Bajo                  |

PROPIEDADES DE LAS SELECCIONES

| ATRIBUTOS<br>SELECCIONES | Tributación           | Plazo de inversión | Nivel de riesgo |
|--------------------------|-----------------------|--------------------|-----------------|
| Bienes Raices            | impuestos             | largo plazo        | bajo            |
| Acciones                 | Exención de impuestos | corto plazo        | alto            |
| Certificados de Depósito | Exención de impuestos | corto plazo        | bajo            |

Tanto las características de los casos, como las propiedades de las selecciones se pueden representar por medio de matrices como los siguientes, las cuales dan la posibilidad de asignar valores de pertenencia o factores de certeza que indiquen en qué grado cada caso posee cada característica, y en que grado cada selección posee cada propiedad :

| C<br>A<br>S<br>O<br>S | CARACTERISTICAS                     |                  |      |
|-----------------------|-------------------------------------|------------------|------|
|                       | OBJETIVO DE INVERSION A LARGO PLAZO | AVERSO AL RIESGO | RICO |
| MARIA                 | 0.9                                 | 0.8              | 0.9  |
| JUAN                  | 0.2                                 | 0.9              | 0.5  |
| DAVID                 | 0.7                                 | 0.3              | 0.6  |

| S<br>E<br>L<br>E<br>C<br>C<br>I<br>O<br>N<br>E<br>S | PROPIEDADES    |               |                |                  |
|---|----------------|---------------|----------------|------------------|
|   | PAGA IMPUESTOS | A LARGO PLAZO | DE ALTO RIESGO | DE MUCHO CAPITAL |
| BIENES RAICES                                       | 0.9            | 0.8           | 0.2            | 0.8              |
| ACCIONES  | 0.2            | 0.3           | 0.8            | 0.5              |
| C.D.T.  | 0.2            | 0.3           | 0.2            | 0.5              |

Comparando casos de ejemplo se pueden identificar las características importantes en el dominio, y comparando las diferentes selecciones que puede hacer el experto se identifican las propiedades de dichas selecciones .

ENTREVISTA SOBRE UN CASO ESPECIFICO

Se le presenta al experto un problema realista de la clase que se espera que el S. E. resolverá . Se le pide al experto que le hable al ingeniero del conocimiento mientras resuelve el caso. En una variante de este método, se comienza sin información para el experto, el cual debe solicitar explícitamente la información que va necesitando ; al hacer esto, se hace más evidente la "navegación" del experto a través del dominio, en especial en cuanto a las entradas que requerirá el S.E.

El siguiente es un ejemplo de diálogo en una entrevista para adquisición de conocimiento en el dominio : "ayuda a usuarios del paquete estadístico SAS " :

Experto : - Ayer hablé con un usuario novato. No podía comenzar porque no entendía el paso DATA . Ese siempre es un primer paso , bueno, casi siempre, y la gente a menudo lo olvida .

I. C. : - Que necesitaba ese usuario en el paso DATA ?

Experto : - Bueno, necesitaba uno que le faltaba. Hay unas cinco clases diferentes de pasos DATA . Le recomendé una entrada sencilla de campos fijos, y le sugerí que pusiera los datos en el mismo archivo, en vez de ponerlos en un archivo separado. Así se reduce la complejidad del J C L .

I. C. : - J C L ?

Experto : - J C L o "Job Control Language" , es un conjunto de instrucciones para manejar principalmente archivos . Si los datos están en otra parte, se debe preparar una línea de J C L que diga dónde está el archivo de datos, y cómo está formateado.

I. C. : - Necesitaremos hablar más sobre el J C L , pero por ahora, volvamos al usuario de ayer y su necesidad de un paso DATA . Porqué le sugirió un paso DATA de formato fijo ?

Experto : - Sobre todo porque sus datos eran simples , y el formato fijo requiere que él organice bien sus datos en filas y columnas. Un formato libre les parece más fácil a los nuevos usuarios, pero hay más posibilidad de error, y es difícil encontrar errores en datos de formato libre .

I. C. : - Cuando Ud. dice que los datos eran simples, qué significa eso ?

Experto : - Había menos de 100 registros, y sólo unas 15 variables. Tampoco había datos faltantes, y los casos no eran complejos. La semana pasada vino uno que no podía decidir como serían sus registros : Tenía datos de un montón de gente en varios salones de clase y en escuelas. Quería estudiar diferencias entre escuelas. Esos no eran unos datos simples .

Así entrevistando al experto, el I.C. lentamente construye una representación de los conocimientos del experto .

El proceso de adquisición implica descubrir los atributos del problema que interesan al experto ( en el ejemplo: paso DATA, formato fijo ) , y hacer explícito el proceso de pensamiento, usualmente expresado como reglas empíricas , que el experto usa para interpretar esos atributos.

Utilizando la terminología vista en las Matrices de Repertorio, los criterios de decisión se basan en asociar las características del caso con las propiedades de la selección . En el ejemplo visto sobre inversiones de dinero, hay correspondencias muy evidentes y directas, por ejemplo entre la característica "aversión al riesgo" de un caso y la propiedad "inversión de bajo riesgo", pero en general en todas las situaciones la correspondencia no es tan sencilla, sino que se da entre un conjunto de características y un conjunto de propiedades .

Para identificar las **reglas simples** aplicadas por el experto, debemos averiguarle :

- Comparando dos selecciones: Para un caso específico, por cual propiedad, escogió una selección y no otra .
- Comparando dos casos: Por cuál característica del caso escogió una selección determinada para ese caso y no para el otro .

Para identificar las **reglas de varias condiciones** :

- Comparando dos selecciones que tienen una propiedad común : Para un caso específico, por cual otra propiedad , escogió una selección y no la otra .



**Para relacionar características de los casos con propiedades de las selecciones :**

- Para un caso específico, cual o cuales característica(s) del caso se relacionan directamente con cual o cuales propiedades de la selección escogida para ese caso .

Este tipo de preguntas se pueden automatizar en cierta medida, para lograr cierto grado de inducción automática de reglas, como se verá en la sección siguiente.

Algunas entrevistas se pueden enfocar a casos excepcionales o difíciles , ya que estos son valiosos para obtener buena información sobre los conocimientos puestos en juego por el experto.

**CLASIFICACION DE TECNICAS DE ANALISIS DE CASOS**

| CASO     | RESTRICCION     | DESCRIPCION   | VENTAJAS   | DESVENTAJAS  |
|----------|-----------------|---|--|--|
| FAMILIAR | NINGUNA         | EL EXPERTO REALIZA UNA TAREA QUE RUTINARIAMENTE RESUELVE                        | EL EXPERTO SE SIENTE COMODO  | PUEDE SER MENOS PRODUCTIVA POR UNIDAD DE TIEMPO  |
|          | DATOS FALTANTES | AL EXPERTO SE LE PRIVA DE CIERTA INFORMACION QUE NORMALMENTE SI ESTA DISPONIBLE | PUEDE DISEÑARSE PARA EXTRAER INFORMACION SOBRE SUBDOMINIOS SELECCIONADOS DEL CONOCIMIENTO                      | EL EXPERTO NO ESTA COMODO. PUEDE NEGARSE A EMITIR JUICIOS. PUEDE TOMAR EL PROCEDIMIENTO COMO SI FUERA UN DESAFIO PARA VER CUAN LISTO ES; ESTA PERCEPCION DEBE EVITARSE INDICANDOLE LA FINALIDAD DE LA TECNICA. |
|          | PLAZO LIMITADO  | EL EXPERTO DEBE EJECUTAR LA TAREA DENTRO DE UN LIMITE DE TIEMPO FIJADO          | PUEDE DAR INFORMACION SOBRE ESTRATEGIAS DEL EXPERTO  |  |
| DIFICIL  | NINGUNA         | EL EXPERTO HACE LA TAREA SOBRE UNOS DATOS QUE REPRESENTAN UN CASO DIFICIL       | EN ETAPAS AVANZADAS DE ADQUISICION, DA INFORMACION SOBRE ASPECTOS SUTILES, EXCEPCIONES Y LIMITES DE LAS REGLAS | PUEDEN PRESENTARSE IMPREDECIBLEMENTE, CUANDO EL I.C. NO ESTA PRESENTE. EL MISMO EXPERTO DEBE REGISTRAR.  |

**8.3.4. INDUCCION AUTOMATICA DE REGLAS**

Como resultado de las investigaciones sobre sistemas discentes o aprendizaje de la máquina ( ingl.: "machine learning" ) , se han desarrollado algoritmos que, dado un conjunto de casos, cada uno compuesto de datos (ej: valores de atributos tenidos en cuenta para una conclusión), y conclusión la regla que se está aplicando en esos casos.

La inducción de reglas también se trata en la literatura como "inducción de árboles de decisión", ya que la decisión se puede representar como la selección consecutiva de ramas de un árbol, donde en cada nodo (representante de un atributo) decidimos por cual rama seguir, según el valor del atributo.

Algunas herramientas para desarrollo de SS. EE. tienen capacidad de inducir reglas.

Un sistema puede generar las preguntas del tipo descrito en la sección anterior, para que se llenen los espacios con las respuestas del experto, ejemplos :

1 - Para identificar propiedades de una selección :

- Para MARIA seleccioné BIENES RAICES y no ACCIONES  
porque BIENES RAICES es \_\_\_\_\_ / tiene \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_  
respuesta : *EXENCION DE IMPUESTOS*

2 - Para identificar características de un caso :

- Seleccioné BIENES RAICES para MARIA pero no para JUAN  
porque MARIA es \_\_\_\_\_ / Tiene \_\_\_\_ / \_\_\_\_\_ ,  
pero JUAN no es \_\_\_\_\_ / tiene \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_  
respuesta : *OBJETIVO DE INVERSION A LARGO PLAZO*

3 - Para identificar características opuestas :

- El opuesto de la característica OBJETIVO DE INVERSION A LATGO PLAZO  
es \_\_\_\_\_  
respuesta : *OBJETIVO DE INVERSION A CORTO PLAZO*

4 - Para identificar reglas con varias condiciones :

- Tanto ACCIONES como C.D.T. son \_\_\_\_ / tienen \_\_\_\_ / \_\_\_\_ **A CORTO PLAZO** ,  
pero para JUAN seleccioné C.D.T.  
porque **C.D.T.** es \_\_\_\_\_ / Tiene \_\_\_\_ / \_\_\_\_\_  
pero ACCIONES no es \_\_\_\_\_ / no tiene \_\_\_\_ / \_\_\_\_\_  
respuesta : *DE BAJO RIESGO*

De aquí se puede inducir la regla :

- La inversión es **C.D.T.** SI la inversión debe ser **A CORTO PLAZO**  
y la inversión debe ser **DE BAJO RIESGO**

5 - Para relacionar características del caso con propiedades de la selección :

- Para DAVID seleccioné ACCIONES  
porque ACCIONES es \_\_\_\_\_ / Tiene \_\_\_\_ / \_\_\_\_ **DE ALTO RIESGO**  
y DAVID es \_\_\_\_\_ / Tiene \_\_\_\_ / \_\_\_\_\_

respuesta : *PROPENSO AL RIESGO*

Uno de los algoritmos más usados para inducir reglas es el denominado ID 3, propuesto por J. Ross Quinlan en 1979 (basado en trabajos de E. B. Hunt de 1966).

## Ejercicio

Basándose en el siguiente segmento de diálogo entre un experto (Ex) y Ud. como ingeniero del conocimiento (IC), qué reglas tentativas puede Ud. formular para comenzar a desarrollar un prototipo de sistema experto que recomiende qué hacer para obtener fotos de buen color ?

IC- Qué problemas se pueden presentar con la iluminación y el tipo de película ?

Ex- Cuando se combinan diferentes tipos de iluminación y de película a color, se presentan tintes indeseables en las fotos.

I.C- Cuáles, por ejemplo ?

Ex- Se da un tinte amarillento cuando se usa película para luz diurna con luz incandescente o photoflood.

IC- Hay otros casos que originen también tinte amarillento ?

Ex- Ah ! ... También ocurre cuando se usa película tipo A con lámparas de estudio.

IC- Qué recomienda Ud. para eliminar el problema y obtener buenos colores ?

Ex- Bueno, depende : Para película de luz diurna, con luz incandescente recomiendo utilizar un filtro 80A , y con luz photoflood se debe usar un filtro 80B.

IC- En el otro caso, el de película tipo A y lámpara de estudio, cual de esos filtros recomienda Ud. ?

Ex- Oh, no; en ese caso es mejor utilizar un filtro 82A .

IC- Fuera de la coloración amarillenta, cuáles problemas similares se pueden presentar ?

Ex- Bueno, se pueden presentar tintes azul y verdeazul.

IC- En cuales casos se da eso ?

Ex- Resulta coloración azul al utilizar película tipo A o tipo B con luz diurna.

IC- Qué recomienda Ud. en esos casos ?

Ex- En el caso de película tipo A, recomiendo un filtro 85, y en el caso de película tipo B recomiendo un filtro 85B.

IC- Aja !, bien. Habrá otros casos ?

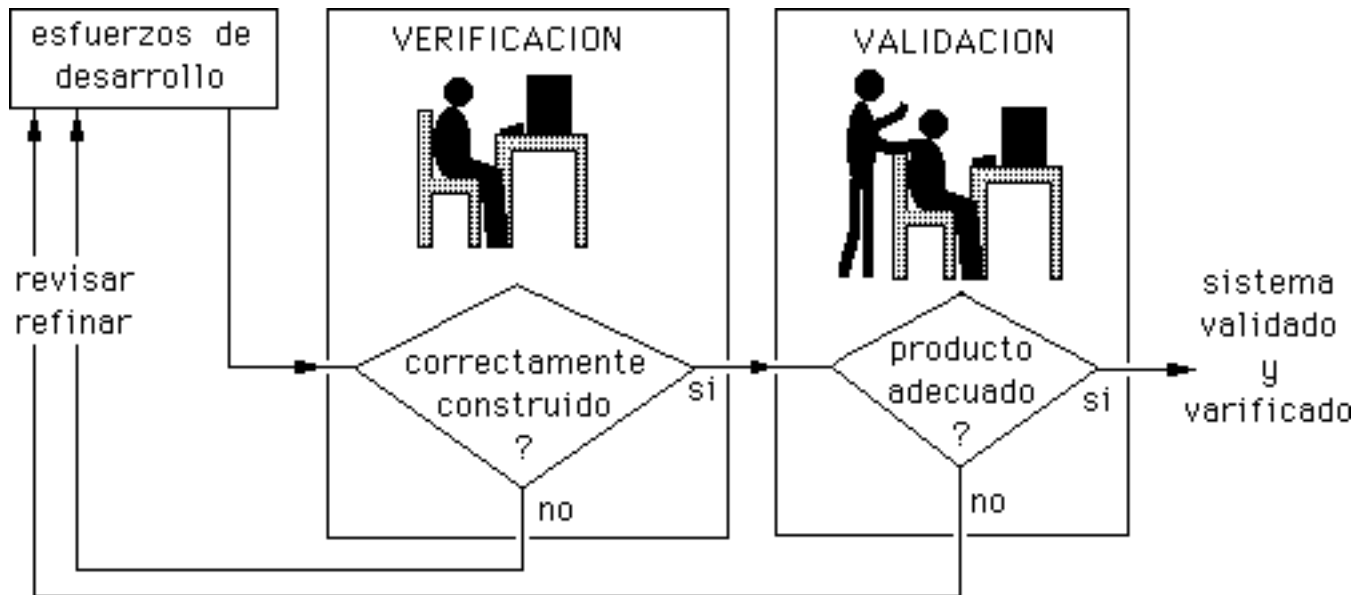
Ex- Déjeme pensar, . . . Ah, la película tipo B también presenta ese problema cuando se usa con lámparas photoflood, pero en este caso basta con un filtro 81A.

IC- Bien, todo eso está claro. Ah . . . Ud. mencionó coloración verdeazul, es otro caso ?

Ex- Ah, si. Eso se presenta al utilizar luz de lámparas fluorescentes con película para luz diurna o con película tipo B. En el primer caso se debe utilizar un filtro FL-D, y en el segundo caso un filtro FL-B.

## 8.4. VERIFICACION Y VALIDACION DE SISTEMAS EXPERTOS

Debemos verificar que el sistema está correctamente construido y que efectivamente es el producto que satisface los requerimientos . Verificar y validar una Base de conocimientos es una labor ardua, para la cual se están desarrollando algunas ayudas automáticas, que en cierta medida pueden al menos indicar donde puede haber problemas , para que el Ingeniero del Conocimiento revise esa parte de la B.C. y evalúe si efectivamente hay error.



Luego de las etapas de verificación y validación continúan las pruebas , hasta considerar que una de ellas es la "prueba final" para aprobar el sistema "oficialmente" .

### PROBLEMAS POTENCIALES CON LAS REGLAS

#### 1 - REGLAS REDUNDANTES

Dos reglas son redundantes si ambas se activan en la misma situación y tienen la(s) misma(s) conclusión(es) . Este caso es más difícil de detectar cuando en las premisas se manejan variables, que aunque tengan nombres diferentes, durante la ejecución pueden tener asignado el mismo valor y así hacer equivalentes las reglas.

La redundancia en una B. C. puede no causar problemas lógicos, pero puede afectar la eficiencia . También origina problemas cuando una de las reglas se modifica o suprime y la otra se deja tal cual .

#### 2 - REGLAS EN CONFLICTO

Dos reglas están en conflicto si se activan en la misma situación, pero arrojan conclusiones mutuamente excluyentes . En la notación formal del cálculo de predicados serían :

$$\text{Regla A: } P(x) \implies Q(x)$$

$$\text{Regla B : } P(x) \implies \neg Q(x)$$

cuando las conclusiones son diferentes , pero no contradictorias , puede no haber problema si esas conclusiones son valores de atributos multivaluados ( que pueden tomar varios valores simultáneamente) , por ejemplo: una persona puede tener varias alergias o infecciones simultáneamente .

### 3 - REGLA INCLUIDA EN OTRA

Una regla A está incluida en otra regla B, cuando ambas tienen la misma conclusión, pero las premisas de B son un subconjunto de las de A .

$$\text{Regla A : } P(x) \text{ y } Q(y) \implies R(z)$$

$$\text{Regla B : } P(x) \implies R(z)$$

si la regla menos restrictiva se cumple, la que tiene más condiciones también, y resulta redundante .

### 4 - CONDICIONES INNECESARIAS

Dos reglas contienen condiciones innecesarias si se cumplen los siguientes hechos :

- 1) Tienen las mismas conclusiones .
- 2) Una condición de una de las reglas está en conflicto con una condición de la otra regla , y
- 3) Las demás condiciones de las dos reglas son equivalentes .

En la notación formal del cálculo de predicados serían :

$$\text{Regla A : } P(x) \text{ y } Q(y) \implies R(z)$$

$$\text{Regla B : } P(x) \text{ y } \neg Q(y) \implies R(z)$$

Las condiciones referentes a Q(y) son innecesarias, y solo se requiere una regla :

$$P(x) \implies R(z)$$

Una variante de esto es cuando la regla B es simplemente :  $\neg Q(y) \implies R(z)$   
 En este caso la regla A se puede simplificar a :  $P(x) \implies R(z)$   
 pero se requieren ambas reglas.

### 5 - REGLAS CIRCULARES

Un conjunto de reglas es "circular" si se pueden encadenar de forma que formen un ciclo repetitivo sin fin .

### 6 - REGLAS FALTANTES

Los siguientes cuatro casos pueden indicar que faltan reglas :

- 1- Valores de atributo no referenciados en las reglas.

- 2- Valores de atributo ilegales referenciados en alguna regla.
- 3- Conclusiones u Objetivo (inglés: "goal" ) inalcanzables. (que no se le puede preguntar al usuario, y cuya regla no se puede encadenar )

## 7 - REGLAS QUE NUNCA SE PUEDEN SATISFACER

Hay varias causas, por ejemplo :

- A ) Cuando en la premisa tiene condiciones que son contradictorias y por lo tanto siempre se evalúa como falsa, ej:

Regla A :  $P(x) \text{ y } Q(y) \implies R(z)$

Regla B :  $\neg P(x) \implies Q(z)$

- B ) Cuando en un sistema se evalúa una expresión no multivaluada, a veces el sistema se detiene al satisfacerse una regla que tiene certeza absoluta , ej:

Regla A :  $P(x) \implies (z = A) \text{ FC}=100$

Regla B :  $\neg P(x) \implies (z = B) \text{ FC}=100$

Regla C :  $S(y) \implies (z = C) \text{ FC} = \dots$

si  $z$  sólo puede asumir un valor, la Regla C nunca se satisface si el mecanismo de inferencia activa las reglas en ese orden secuencial, y se detiene al satisfacerse una de las reglas A o B que tienen certeza absoluta .

# 9. HERRAMIENTAS DE DESARROLLO

## 9. 1. TIPOS DE HERRAMIENTA

Para el desarrollo de un Sistema Experto se han utilizado diversos tipos de "herramienta", que se pueden clasificar en 5 categorías:

- 1 - Lenguajes tradicionales, que son orientados a procesos numéricos (Pascal, C , etc . . . ) .
- 2 - Lenguajes orientados a objetos (Smalltalk, Eiffel, C++, etc . . . ) .
- 3 - Lenguajes orientados a manipulación simbólica como el LISP
- 4 - Lenguaje de "programación lógica", PROLOG
- 5 - Herramientas dedicadas para Sistemas Expertos (ingl.: "Expert System Shell") .

En general, se recomienda utilizar herramientas dedicadas para el desarrollo de Sistemas Expertos, a no ser que tengamos un objetivo especial o académico, como por ejemplo investigar otras estructuras de datos , mecanismos de inferencia , o tratamientos de la incertidumbre , que las herramientas comerciales no nos ofrezcan o no nos permitan explorarlas con tanta libertad como si las implementamos nosotros mismos .

Aunque el prolog tiene algunas particularidades que lo hacen algo adecuado para implementar SS.EE. , también adolece de ciertas características implementadas ya en las SELLS para SS. EE. (Véase el artículo de Subrahmanyam citado en la bibliografía) .

Las herramientas dedicadas para Sistemas Expertos, a su vez se caracterizan, por ejemplo, como :

- Inductivas : Que tienen la capacidad de inducir reglas a partir de ejemplos.
- Basadas en reglas simples. Que no organizan sus reglas dentro de módulos.
- Basadas en reglas estructuradas. Que organizan sus reglas en grupos.
- Híbridas : Que utilizan variadas estructuras de datos.
- Específicas

## 9. 2. SELECCION DE UNA HERRAMIENTA

Los principales factores que se deben considerar en el momento de seleccionar una herramienta de desarrollo (shell) para implementar un Sistema Experto son las siguientes :

- Que tenga suficiente potencia en cuanto a la capacidad para manejar una Base de Conocimientos del tamaño que nos interesa y con una buena velocidad de respuesta.
- Que sea flexible para que el trabajo de desarrollo se pueda realizar ágilmente.
- Que las estructuras que usa para representar el conocimiento sean adecuadas para el tipo de problema que deseamos resolver.
- Que los métodos de razonamiento que utiliza también sean adecuados al tipo de problema que enfrentamos.
- Que las interfaces que ofrece ante el desarrollador y ante el usuario sean de fácil manejo y contribuyan a facilitar tanto el desarrollo como la explotación, en vez de dificultarlos.
- Que ofrezca los interfaces necesarios con otros sistemas como: Procedimientos escritos en lenguajes de programación convencionales y Bases de Datos.
- Que el proveedor respalde el producto con entrenamiento, asesoría y soporte.
- Que el software funcione en la plataforma de hardware que tenemos disponible para el desarrollo y la posterior explotación del sistema.
- Que los costos estén dentro del presupuesto destinado a este proyecto.

Para un tratamiento en mayor profundidad sobre la selección de herramientas para SS.EE., véase el artículo de Stylianou, Madey y Smith referenciado en la bibliografía de este libro.

# 10. IMPLEMENTACION DE SISTEMAS EXPERTOS CON REDES NEURONALES

## 10. 1 INTRODUCCION A LAS REDES NEURONALES ARTIFICIALES

Paralelamente con la investigación típica de la I. A., que se centra en el desarrollo de modelos conceptuales y simbólicos, se han desarrollado sistemas análogos a las neuronas y sus redes, que resultan particularmente aptos para procesos de aprendizaje del tipo "mejora de habilidades" o "reconocimiento de patrones".

La idea de buscar en la estructura de los sistemas nerviosos, una inspiración para la concepción de máquinas para el proceso de información, se remonta al año 1943, cuando W. McCulloch y S. Pitts propusieron un modelo de "neurona" para explicar cómo el cerebro podría realizar funciones booleanas. Luego de un período de gran actividad entre 1960 y 1970, orientados hacia los problemas

de clasificación y filtraje adaptativo, la investigación en este campo se volvió más lenta. En los años 80 se abrieron nuevas perspectivas en este campo debido a :

- La aplicación de conceptos de la física de sistemas caóticos a las arquitecturas de redes de neuronas formales, lo cual ha permitido analizar y prever cualitativamente el comportamiento de esos sistemas complejos y no lineales.
- La introducción de métodos de aprendizaje aplicables a redes multicapa de neuronas, que sobrepasaron las limitaciones de las redes conocidas anteriormente.

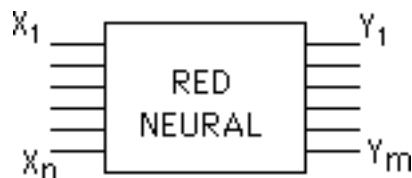
La Neurona o célula es el elemento básico de un sistema nervioso animal, cada una recibe influjos nerviosos através de ramas denominadas Dendritas, cada neurona saca sus propios influjos de salida através de una fibra denominada Axón. Los impulsos se transmiten de una célula hacia otra pasando por uniones denominadas Sinápsis. Existen unas sustancias químicas, denominadas Neurotransmisores, que se liberan en las sinápsis y modifican el potencial eléctrico intracelular, aumentando o disminuyendo la probabilidad de que se origine un impulso nervioso. Si el potencial intracelular es inferior a cierto valor umbral, la neurona está en reposo, cuando supera ese umbral la neurona envía señal eléctrica. La neurona es un elemento no lineal que constantemente toma "decisiones" en función de sus entradas.

Las neuronas se organizan en redes de tamaños variables, muy interconectadas, que constituyen verdaderos sistemas de tratamiento paralelo de información, y que tratan señales: Sensoriales, de comando motriz, de memoria, etc. Ciertas redes observables en la naturaleza poseen una estructura fija, resultante de la evolución de las especies, y del desarrollo del individuo, pero de todas maneras poseen capacidades adaptativas que les confieren posibilidad de aprendizaje.

En las redes neuronales formales, artificiales, hallamos, aunque sea de una manera simplificada, una modelización de las principales características de lo que se sabe sobre las redes neuronales naturales: Procesadores simples, gran interconectividad, tratamiento paralelo y cooperativo, estructura fija o adaptativa y gran variedad de funciones. Sin embargo, el pequeño número de procesadores que podemos manejar aún, la simplicidad de nuestra "neurona" elemental, y la insuficiencia de las herramientas conceptuales, hacen que las redes neuronales artificiales estén aún muy lejos de alcanzar capacidades comparables con las de los animales aún más sencillos.

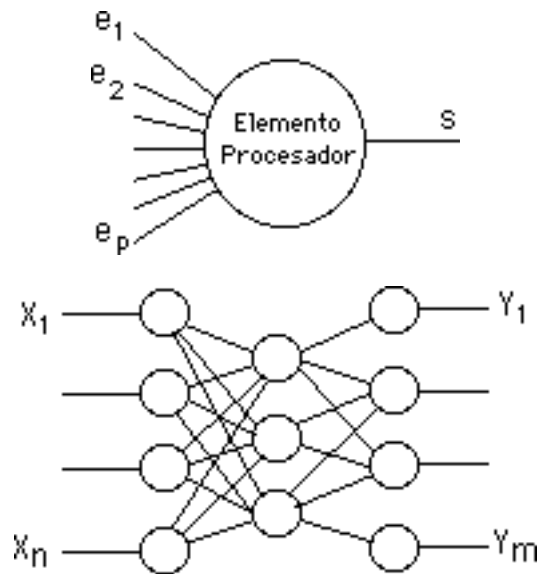
Una neurona formal es un autómata simple, calcula su "potencial" de salida haciendo primero una suma ponderada de sus entradas. Los coeficientes de ponderación se denominan "coeficientes sinápticos", luego la salida (que constituye su "estado") es generada como una función, en general no lineal, del potencial. Esta función se denomina "función de transferencia".

Una Red Neuronal realiza un "mapeado" continuo desde un espacio n-dimensional , de entrada , a uno m-dimensional , de salida , basándose en ejemplos de la acción del mapeado.



La Red Neuronal está compuesta internamente por muchos Elementos Procesadores, que, a manera de "neuronas" están muy interconectados, teniendo cada interconexión determinada fuerza ( peso o poderación) .





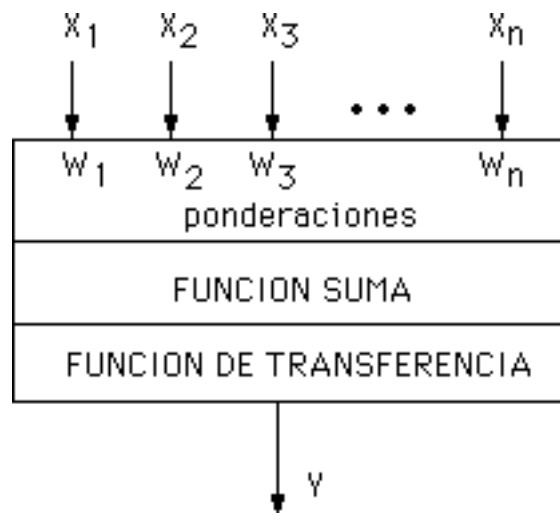
Durante el aprendizaje en este tipo de sistemas se ajustan los parámetros de las relaciones matemáticas entre las entradas y salidas de cada elemento procesador.

Las Redes Neuronales se usan típicamente para desarrollar una relación entre varias entradas y varias salidas. Al someter la red a un conjunto de entradas y su correspondiente conjunto de salida, la red ajusta sus conexiones según cierta "regla de aprendizaje"

### ESPECIFICACION DE UNA RED NEURONAL ARTIFICIAL

La especificación de un R. N. A. consta de la definición de tres componentes:

1 - ELEMENTO PROCESADOR ("neurona artificial", o "neurodo") : Especificación de la estructura del elemento procesador que es un nodo de la red. Asumimos por el momento que son iguales, se trata de una red con nodos homogéneos.



En esta especificación se establecen las funciones que relacionan las entradas a la neurona con las salidas, por ejemplo: Se puede componer de una primera función de SUMA o agregación:

$$S = W_0 + W_1X_1 + W_2X_2 + \dots + W_nX_n \quad (\text{siendo } W_i = \text{ponderaciones, } X_i = \text{entradas})$$

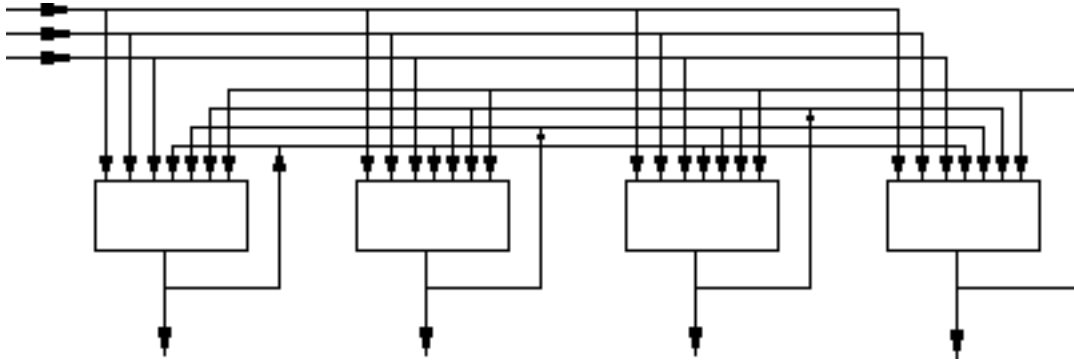
y una segunda función, de TRANSFERENCIA, por ejemplo :

$$Y = (1 + e^{-s})^{-1} \quad (\text{siendo } Y = \text{salida del elemento})$$

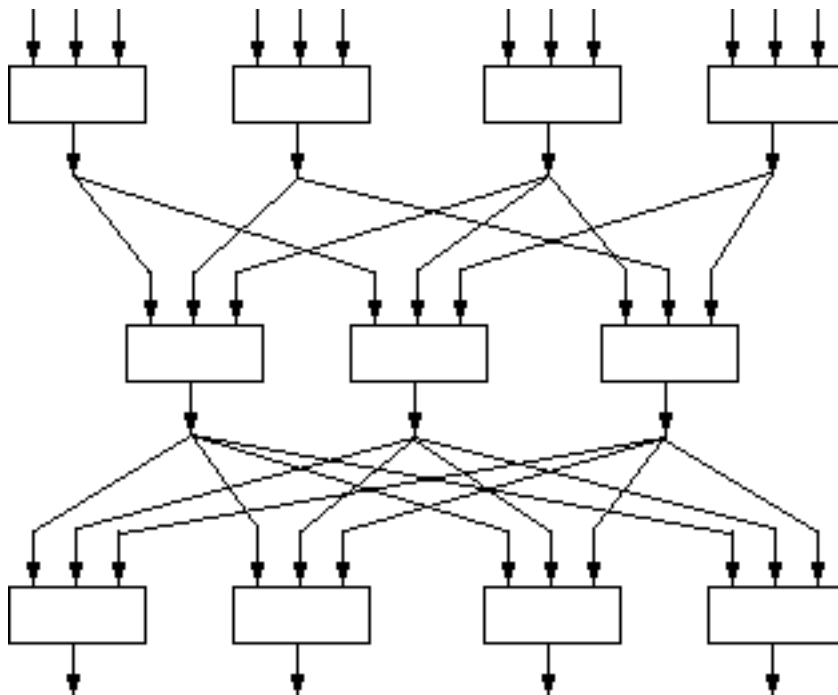
2- NEURODINAMICA : Especificación de las reglas de aprendizaje o adaptación, según las cuales la red ajusta parámetros internos  $W_i$  como resultado de la experiencia.

3 - TOPOLOGIA : Especificación de las interconexiones entre los elementos procesadores.

Ejemplo 1:

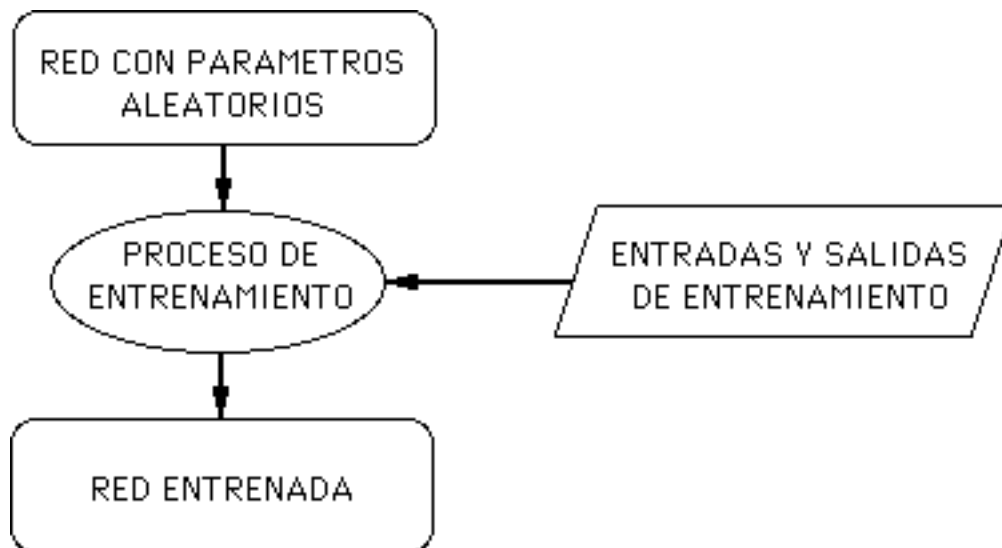


Ejemplo 2:

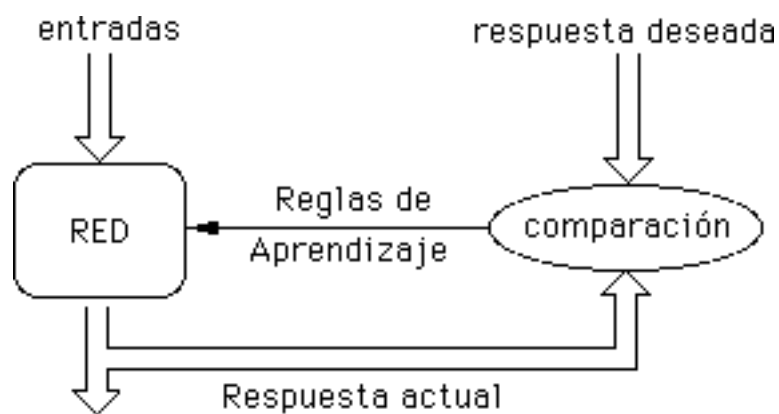


## ENTRENAMIENTO DE LA RED

Inicialmente podemos tener la red configurada con unos parámetros de valores aleatorios, la cual sometemos a un período de aprendizaje, para obtener la red entrenada :



Durante el entrenamiento o aprendizaje la red modifica parámetros internos  $W_i$  basándose en la regla de aprendizaje, la cual tiene en cuenta la diferencia entre la respuesta que actualmente dió la red y la respuesta deseada.



## ARQUITECTURAS BASICAS

Generalmente se puede advertir una organización de las neuronas en "capas" o niveles, un primer nivel es aquel cuyas neuronas reciben las entradas desde el exterior de la red. El último nivel es aquel cuyas neuronas entregan su salida al exterior de la red. Entre el primer nivel y el último pueden existir otras capas, que se denominan "capas ocultas" , Pueden existir sistemas sencillos , compuestos de una o dos capas.

Existen dos grandes tipos de arquitecturas de red: Con realimentación y sin realimentación.

Las redes sin realimentación en general se limitan al "tratamiento de señales", en el sentido tradicional del término, y realizan pues funciones de filtro o de predictores.

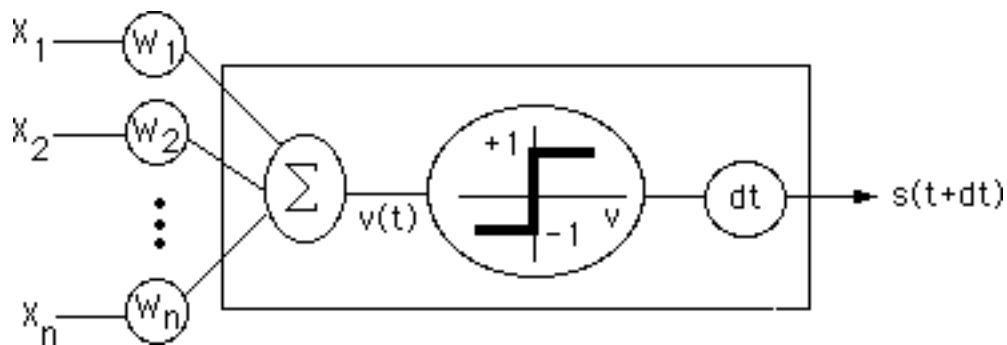
En las redes con realimentación algunas, o todas, las neuronas reciben en su entrada parte o la totalidad del estado de la red. Este tipo de red es un sistema dinámico no lineal.

#### EJEMPLO : MODELO DE McCULLOCH-PITTS

Se trata de una neurona determinista que funciona en tiempo discreto y con estados binarios. Se puede utilizar para clasificadores y memorias asociativas, se define por las relaciones siguientes:

$$v(t) = \sum W_j X_j(t)$$

$$s(t+dt) = \begin{cases} +1 & \text{si } v(t) > 0 \\ -1 & \text{en caso contrario} \end{cases}$$



#### APRENDIZAJE EN REDES NEURONALES SIN REALIMENTACION

Sea una red que posee más de una capa de neuronas.

La salida  $S_i$  de la  $i$ -ésima neurona está definida por :  $S_i = F_i(v_i)$  siendo  $v_i = \sum W_{ij} X_j$

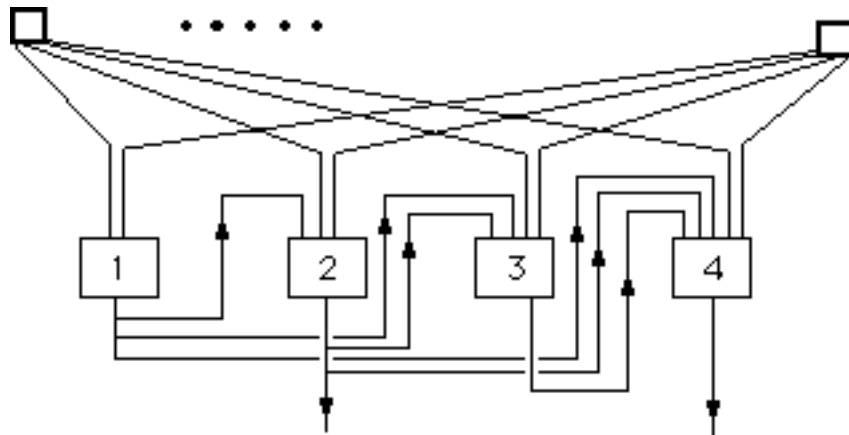
Siendo:

$v_i$  = potencial

$F_i()$  = función de activación o de transferencia

$W_{ij}$  = coeficientes de ponderación

La topología más general para una red estática sin realimentación es una completamente conectada, por ejemplo :



Las neuronas 2 y 4 son las "neuronas de salida", las 1 y 3 son "ocultas".

El aprendizaje consiste en calcular los valores de los coeficientes  $W$  de tal manera que la red efectúe la tarea que se requiere (ej: clasificación, predicción, etc.). Para el entrenamiento la red se somete a  $P$  parejas de vectores, cada pareja se compone de un vector de entradas y un vector correspondiente de salidas. El algoritmo de aprendizaje debe calcular los coeficientes  $W$  de tal manera que para cada vector presentado a la entrada, las salidas sean lo más próximas posibles a los valores deseados.

Los coeficientes sinápticos  $W$  se calculan tendiendo, por ejemplo a minimizar las diferencias entre el vector de salida deseado y el vector respuesta obtenido. Una de las reglas más simples utilizadas es :

$$W_{ij}(t+dt) = W_{ij}(t) + a \Delta(t) X_j(t) \quad \text{siendo } a \text{ una constante}$$

## 10. 2. LA RED NEURONAL COMO SISTEMA EXPERTO

Realmente, las Redes Neuronales Artificiales (R.N.A) . no fueron inventadas para hacer sistemas expertos, aunque en cierto sentido se pueden comportar como estos. Las R.N.A. ofrecen pues una alternativa para implementar la función de un sistema experto.

Los principales pasos de implementación son los siguientes :

- 1 - Identificar todos los atributos  $A_i$  necesarios para resolver el problema, (ej: síntomas en un sistema de diagnóstico) .
- 2 - Identificar los valores  $V_{ij}$  asociados con cada atributo, o posibles características de los casos.
- 3 - Identificar las posibles conclusiones o selecciones .
- 4 - Escoger la red :
  - Tipo de elemento procesador.
  - Distribución de los elementos en capas de entrada, ocultas o intermedias, y de salida (inglés: "input layer", "hidden layer(s)", "output layer") .
  - Manera de codificar las características de los casos como valores de las entradas de los elementos de la capa de entrada .
  - Manera de codificar las selecciones de los casos como valores de las salidas de los elementos de la capa de salida .
  - Regla de aprendizaje, o sea el algoritmo según el cual se modificarán los pesos de interconexión entre los elementos.

5 - Utilizar un conjunto de casos ejemplo para entrenar la red . Los atributos y valores definen la capa de entrada de la red , mientras los resultados forman la capa de salida

Cuando se usan R.N.A. , el dominio y la tarea no requieren ser tan bien comprendidos como para usar los "shells" tradicionales. No se requiere que el experto detalle cómo llega a una solución, ya que el sistema se adapta con base en las relaciones estímulo/respuesta, reconfigurándose para resolver el problema . La ventaja principal de usar este tipo de implementación es que no requiere algoritmos específicos del dominio ; otra ventaja consiste en que se pueden degradar más "gracilmente" que los sistemas expertos tradicionales si falla alguna parte (por ejemplo una conexión) . La principal desventaja es que no tenemos manera de examinar los "conocimientos" del sistema, y en este sentido es una especie de "caja negra", en el cual podemos confiar sólo por su comportamiento entrada/salida .

## 11. SISTEMAS EXPERTOS PARA "TIEMPO REAL"

Al evolucionar la metodología de los SS.EE. de un arte hacia una ciencia, cada vez se atacarán problemas más exigentes y desafiantes. Algunos de los ambientes más interesantes a este respecto son las tareas a realizarse en "tiempo real".

Aunque se han propuesto varias definiciones de cuándo un sistema se considera de "tiempo real", tomemos la siguiente : Un sistema funciona en "tiempo real" cuando garantiza que procesa y responde dentro de un lapso de tiempo que ha sido prefijado como parte de la definición del problema .

Un S.E. operando en una situación de tiempo real, por ejemplo reconocimiento de una amenaza en el campo militar, típicamente necesita responder a un ambiente cambiante, que involucra un flujo asincrónico de eventos y requisitos cambiantes, dentro de limitaciones de tiempo, hardware y demás recursos.

Para posibilitar el razonamiento necesario sobre datos rápidamente cambiantes, con requisitos estrictos de tiempo, se requiere una arquitectura flexible que maneje: razonamiento acerca del tiempo, razonamiento no-monotónico, interrupciones, y ruido en la entrada de datos, por ejemplo.

Los sistemas de computación en tiempo real han llegado a ser parte indispensable de nuestra vida cotidiana, desde controladores pequeños y simples, hasta complejos sistemas industriales y militares. La complejidad de tales sistemas va en aumento, y se puede medir sobre tres dimensiones :

- 1 - Número de factores a considerar antes de tomar la decisión.
- 2 - Número de funciones a controlar.
- 3 - Velocidad a la cual debe ejercerse las funciones de entrada, decisión y control.

El deseo de atacar problemas de tiempo real más complejo a impulsado la aplicación de las técnicas de S.S.EE. a esos dominios. La aplicación de esas técnicas de solución de problemas deberán resultar en estrategias más sofisticadas para tareas como: control de satélites y aeronaves, vehiculos autónomos, monitoreo de redes de comunicación, robótica, control de procesos y monitoreo de pacientes, entre otros.

Una razón importante para aplicar SS.EE. a tareas de tiempo real de monitoreo y control es el deseo de reducir la excesiva carga de señales sobre operarios, los cuales por este motivo pueden cometer costosos errores. Un planta de procesos industriales, fácilmente puede requerir atender a cientos o miles de variables para su operación óptima, las cuales usualmente deben ser atendidas por uno o unos

pocos operarios. Otro caso de potencial atractivo es el de los manejos de las bolsas de valores y negociaciones con monedas extranjeras, para la correcta toma de decisiones rápidas.

La mayoría de los SS.EE. se han aplicado en tareas donde los datos son mas o menos estáticos y no se requieren respuestas dentro de lapsos críticos. Pero las aplicaciones en tiempo real (T.R.) presentan los siguientes características especiales :

#### 1- NO MONOTONICIDAD :

Los datos provenientes de los sensores, así como las conclusiones no permanecen estáticos durante la ejecución del programa, los datos en general no son duraderos y su validez puede degradarse con el tiempo.

#### 2 - OPERACION CONTINUA :

Muchos sistemas de T.R. deben continuar operando hasta que un operador los detenga, a no ser que ocurra un hecho catastrófico.

#### 3 - EVENTOS ASINCRONICOS :

Aunque gran parte de la actividad de un sistema de T.R. se acomoda a una secuencia prefijada, frecuentemente el sistema también debe poder aceptar interrupciones (inglés: "interrupts") originadas por eventos externos que no se conforman a la secuencia.

Adicionalmente, los eventos pueden variar en importancia. El sistema debe atender los eventos según prioridades determinadas por la importancia de cada evento, con la posible reprogramación de la atención a los eventos menos importantes.

#### 4 - INTERFACES CON SENSORES :

Generalmente reciben sus datos directamente de un conjunto de sensores.

#### 5 - DATOS INCIERTOS O FALTANTES :

La validez de los datos puede ser cuestionable por degradación de los sensores o por ruido.

#### 6 - ALTA VELOCIDAD :

Este es un requisito clave en muchos sistemas críticos. Por ejemplo, el "Asistente de Piloto" (" Pilot's Associate ") la Lockheed debe reconocer un objeto amenazante en unos 100 milisegundos.

#### 7 - RAZONAMIENTO REFERIDO AL TIEMPO :

Capacidad de razonar acerca del pasado, presente y futuro de los procesos, y la secuencia en que deben ocurrir los eventos.

#### 8 - ENFOQUE DE LA ATENCION :

Cuando ocurre un evento importante, el sistema debe enfocar sus recursos a determinado objetivo ; esto puede requerir : Activar una nueva "fuente de conocimiento " o "especialista", atender a otros sensores, o modificar la velocidad con la cual se están analizando ciertos datos.

#### 9 - TIEMPOS DE RESPUESTA GARANTIZADOS :

El sistema debe responder antes de que se requiera su respuesta, o sino es inutil, pero además, es deseable que produzca la mejor respuesta posible dentro de ese límite de tiempo.

#### 10- INTEGRACION CON COMPONENTES PROCEDIMENTALES :

Generalmente tiene que estar muy integrado con software convencional de tiempo real. Este código "convencional" realiza tareas como : proceso de señales, compresión de datos, extracción de parámetros, y funciones específicas de E/S . Esto requiere pues un integración eficiente de computación simbólica con numérica.

## 12. TENDENCIAS DE LOS DESARROLLOS

### MAYOR ACCESIBILIDAD

Las herramientas para desarrollo de S. E. serán más económicas por la fuerza de la competencia, y estarán disponibles en mayor número de plataformas de hardware.

Asimismo se espera que sean más veloces y posean interfaces más "amigables" para con los desarrolladores y usuarios.

### HERRAMIENTAS ESPECIALIZADAS

También crecerá la oferta de "shells" o herramientas especializadas, orientados a cierto tipo de problema, por ejemplo: Diseño, Diagnóstico, ... etc.

### ARQUITECTURAS HÍBRIDAS

Las herramientas más potentes ofrecerán múltiples formas de representar el conocimiento y de hacer inferencias.

### INTERACCION CON OTRO SOFTWARE

Los S. E. estarán cada vez más difundidos, y se hallarán incorporados en equipos y software de uso más tradicional. La interacción de los Sistemas Expertos con Bases de Datos tendrá cada vez mayor importancia.

### UTILIZACION EN APLICACIONES DE TIEMPO REAL

La existencia de S. E. suficientemente veloces aumentará la aplicabilidad de los S. E. en "tiempo real" como en el control de procesos (véase capítulo 12) .

### AYUDAS AUTOMATICAS PARA LA ADQUISICION DEL CONOCIMIENTO

Nuevos paquetes de software buscan integrar :

- Técnicas de ayuda en la evocación de conocimientos (ej: Matrices de Conceptos)
- Técnicas de análisis estadístico de datos ( ej: discriminante y de conglomerados (ing.: "cluster analysis" ).
- Algoritmos discentes , desarrollados en las investigaciones sobre el aprendizaje de la máquina ( ingl.: "machine learning" )

Con la integración de esas técnicas, se pretende desarrollar herramientas poderosas que agilicen la generación de Bases de Conocimientos.

Las investigaciones que se hacen para facilitar la introducción de conocimientos al Sistema Experto, producirá eventualmente más sistemas que formen automáticamente (= aprendan) su Base de Conocimiento , así como herramientas donde el mismo experto, sin colaboración de un "ingeniero del conocimiento" pueda desarrollar un S. E.

### AYUDAS AUTOMATICAS PARA LA VERIFICACION DE LA BASE DE CONOCIMIENTOS



# BIBLIOGRAFIA

- Badiru, A.B.: EXPERT SYSTEMS APPLICATIONS IN ENGINEERING AND MANUFACTURING, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, 1992.
- Bahill, A. T. : VERIFYING AND VALIDATING PERSONAL COMPUTER-BASED EXPERT SYSTEMS , Prentice-Hall, Englewood Cliffs, 1991.
- Benchimol, G., Levine, P., Pomerol, J.C.: LOS SISTEMAS EXPERTOS EN LA EMPRESA, Macrobit Editores, S.A. de C.V., México D.F. , 1990
- Boose, J.H. : EXPERTISE TRANSFER FOR EXPERT SYSTEM DESIGN , Elsevier Publishing Company , New York, 1986
- Cuena, J.: LOGICA INFORMATICA , Alianza Editorial, Madrid, 1985
- Diaper, D. (editor) : KNOWLEDGE ELICITATION: PRINCIPLES, TECHNIQUES AND APPLICATIONS, John Wiley & Sons, New York, 1989.
- Dussauchoy, A.: SISTEMAS EXPERTOS, METODOS Y HERRAMIENTAS , Paraninfo, 1988.
- Fikes, R. , Kehler, T. : THE ROLE OF FRAME-BASED REPRESENTATION IN REASONING , Communications of the ACM , vol. 28 , No. 9 , sept. 1985 , pp. 904 - 920 .
- Gallaher , J. P . : KNOWLEDGE SYSTEMS FOR BUSINESS , INTEGRATING EXPERT SYSTEMS AND M.I.S. , Prentice-Hall, Englewood Cliffs, 1988.
- Hart, A.: KNOWLEDGE ACQUISITION FOR EXPERT SYSTEMS, second edition, 196 pp., McGraw-Hill, New York, 1992.
- Hayes-Roth, F. : RULE-BASED SYSTEMS , Communications of the ACM , vol. 28 , No. 9, sept. 1985 , pp. 921 - 932 .
- Hayes-Roth, F., Waterman, D., Lenat, D. : BUILDING EXPERT SYSTEMS, Addison-Wesley, Reading , 1983.
- Karen, L.: KNOWLEDGE ACQUISITION, PRINCIPLES AND GUIDELINES, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, 1989
- Kidd, A.L. (editor): KNOWLEDGE ACQUISITION FOR EXPERT SYSTEMS: A PRACTICAL HANDBOOK, Plenum Press, New York, 1989.
- Kruse, R., Schwecke, E., Heinsohn, J.: UNCERTAINTY AND VAGUENESS IN KNOWLEDGE BASED SYSTEMS: NUMERICAL METHODS, 491 pp. , Springer-Verlag, New York, 1991.
- Laffey, T.J., Cox , P.A. , Schmidt, J.L. et al: REAL-TIME KNOWLEDGE-BASED SYSTEMS, AI Magazine, vol. 9, No. 1 , spring 1988 , pp. 27-45
- McGraw, K.L. , Harbison, K.: KNOWLEDGE ACQUISITION, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, 1989.

- Molina , J. F. : TEORIA DE SUBCONJUNTOS BORROSOS Y SISTEMAS EXPERTOS, Memorias del taller andino en sistemas expertos y robótica, U. EAFIT, Medellín, 1989.
- Negoita, C.V.: EXPERT SYSTEMS AND FUZZY SYSTEMS , Benjamin and Cummings, 1985.
- Parsaye, K. , Chignell, M.H.: EXPERT SYSTEMS FOR EXPERTS, John Wiley & Sons, New York, 1988.
- Rolston, D. W.: PRINCIPIOS DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL Y SISTEMAS EXPERTOS , McGraw-Hill Latinoamericana S.A., Bogotá, 1990
- Singley, M.K., Anderson, J.R.: THE TRANSFER OF COGNITIVE SKILLS, Harvard University Press, Cambridge, 1989.
- Stylianou, A.C., Madley, G.R., Smith, R.D. : SELECTION CRITERIA FOR EXPERT SYSTEM SHELLS: A SOCIO-TECHNICAL FRAMEWORK, Communications of the ACM, vol. 35, No. 10, oct. 1992, pp. 30 - 48.
- Subrahmanyam, P. A. : *The Software Engineering of Expert Systems: Is PROLOG adequate ?* , en IEEE TRANSACTIONS ON SOFTWARE ENGINEERING , vol. SE-11, No. 11, pp. 1391-1400 , nov. 1985 .
- Walters, J.R., Nielsen, N.R.: CRAFTING KNOWLEDGE-BASED SYSTEMS, John Wiley & Sons, New York, 1988.