

**COORDINACIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO  
MAESTRÍA EN INGENIERÍA Y CIENCIAS DE LA  
COMPUTACIÓN**

**IIMAS - UNAM**

Apto. Postal 20-726, Admon. no. 20, 01000, México, D.F.

***EL K = CONOCIMIENTO***

**Notas del curso Sistemas Expertos**

**Sergio Marcellin Jacques**

**smarcellin@gmail.com**

**Marzo 2010**

## **Prólogo**

## **Introducción**

## **Capítulo 1. ¿Qué es conocimiento?**

- Definición Filosófica
- Posibilidad y Esencia
- Origen
- Formas
- Verdad
- Adquisición
- Control y Manejo
- Distribución
- Resultados
- Referencia

## **Capítulo 2. ¿Quiénes lo tienen?**

- El Ingeniero del Conocimiento
- Proceso de interacción entre el Experto y el Ingeniero del Conocimiento
- Situaciones de conflicto durante la interacción con el Experto del dominio (nube).
- Referencia

### **Capítulo 3. ¿Cómo se adquiere?**

- Antecedentes y Conceptos
- Aprendizaje
- Estados de la Adquisición del Conocimiento
- Fuentes de Adquisición del Conocimiento
- Técnicas de Adquisición manuales
- Técnicas de Adquisición automatizadas
- Referencias

### **Capítulo 4. ¿Cómo se representa ?**

- Lógica Simbólica
- Sistemas Basados en Reglas de Producción
- Redes Semánticas
- Marcos ( Frames )
- Guiónes ( Scripts )
- Otras Representaciones
- Algoritmo "ID3"
- Clasificador Holland
- Referencias

# PROLOGO

## ¿ Porque el K y cómo relacionarlo con CONOCIMIENTO?

Hace algunos años durante el seminario de construcción de sistemas expertos, en la UNAM, cuando tenia que referirme al termino conocimiento que en ingles se dice "Knowledge" se me ocurrió que era más rápido poner en el pizarrón la letra K para facilitar las cosas. Al referirme al K ( como conocimiento) me vino a la mente el K, cuento de Dino Buzzati y que desde joven me había impresionado. Fue entonces que al relacionar los términos, surgió la idea de intitular este libro como el "K = conocimiento".

El K, primera letra de KNOWLEDGE en ingles o conocimiento en español.  
El K, concepto más importante para crear riqueza, en esta década.

El K es un pez extremadamente grande, espantoso y rarísimo. Lo llaman: Kolomber, Kahloubra, Kalonga, Kalu. Algunos piensan que no existe.

El K, nombre del monstruo marino, temido por los hombres y nunca visto según la leyenda del cuento de Dino Buzzati, intitulado el K ("Le K", Laffont, 1967).

El K, fenómeno que se presenta en este fin de siglo y que parece perseguir al hombre para aportarle bienestar y felicidad pero que sin embargo es temido por todos. Esta analogía que vemos con la historia de D. Buzzati, nos permite invitar al lector a tomar la más hermosa perla del mundo, conociendo el mundo y su entorno.

Según una leyenda que se cuenta entre los hombres del mar, un Squalo monstruoso, - el K - sigue a su victima , durante años, si es necesario, hasta comérsela.

Una vez viejo, Stefano, decide enfrentar al monstruo y se da cuenta que lo único que quería era ofrecerle la perla más hermosa del mundo, la perla del mar. El que la posee le dará fortuna, poder, amor y paz en el alma. Para Stefano fue demasiado tarde.

Estas notas, son un llamado a los lectores para que no les pase lo que a Stefano y reaccionen para capturar el K, que en este libro se refiere al CONOCIMIENTO y no dejen pasar más tiempo, sin obtenerlo, capturarlo, transmitirlo y procesarlo, pues en este inicio de siglo, es un hecho y una realidad de que este es y sera, el recurso más importante de la próxima década.

Agradezco la ayuda y las colaboraciones para la elaboración de estas notas de muchos alumnos que han cursado el seminario a lo largo de los últimos 15 años en la maestría; agradezco en especial a: Arturo Obregón, Sandra Sánchez, Ciro Araujo Ramírez, Francisco Edgar Castillo Barrera, Carlos Guadarrama, Carlos Daniel Hernández Mena, Miguel Ruiz Velasco S., Ileri Tsipekua Rojas Próspero, Germán Tapia Galván, Noe Abraham Romero Ruíz entre muchos otros.

## Introducción

El *conocimiento* es el concepto más importante y significativo de la década de los noventas.

Es un recurso crucial y en principio, infinitamente ampliable; no se agota y cualquiera lo puede adquirir.

En éste documento y tomando la definición de *conocimiento* dada por Alvin Toffler [ Toffler 1994 ], diremos que incluye: información, datos, imágenes e imaginación, actitudes, valores y "productos simbólicos", que pueden ser ciertos, aproximados o incluso falsos. Los medios y canales de comunicación también se incluyen dentro del término *conocimiento*.

El "*know-how*", "*savoir faire*" o *conocimiento* dentro de las organizaciones, gira alrededor de la conectividad de equipos, del intercambio de información entre aplicaciones y del uso de las herramientas para los usuarios finales.

Cuando la información toma la medida del "*saber hacer*" es cuando se convierte en el ingrediente primario y estratégico dentro de una organización; es el resultado de *tratarla bajo nuevos enfoques*, innovando su relación con los individuos y con los objetivos de las áreas involucradas.

Nuestra sociedad es una sociedad de información y de *conocimiento*, que sin él, no habrá *riqueza* en el futuro.

"Vivimos un nuevo estilo de vida .... el de los marcos sin tiempo .... y con poca intuición"

Considerando intuición tanto desde el punto de vista de la razón, como de la emoción y/o de la voluntad.

En forma general, este documento da respuesta a las siguientes interrogantes que con frecuencia hacemos acerca del conocimiento:

- ¿ Qué es?
- ¿ Quiénes lo tienen?
- ¿ Cómo adquirirlo?
- ¿ Cómo representarlo ?

El capítulo 1, inicia **definiendo al conocimiento** desde el punto de vista filosófico, tocando las siguientes partes fundamentales: la posibilidad, el origen, la esencia, las formas, la asignación, el control, los conflictos, la redistribución y los resultados del conocimiento en el siglo XXI.

El capítulo 2, introduce el concepto de **Ingeniero del Conocimiento**. Se establece su función y se mencionan algunas de las habilidades con las que es importante que cuente. Se describen los puntos de interacción con el experto en el dominio, de manera que juntos puedan trabajar como un equipo. Finalmente, se mencionan las principales dificultades que pueden surgir durante esta interacción y se proponen posibles soluciones a tales conflictos.

En el capítulo 3, se presentan los conceptos y las técnicas más comunes para la **adquisición del conocimiento**. Se introduce el concepto de aprendizaje, se describen los ciclos en la adquisición del conocimiento y las técnicas principales para su adquisición, tanto manuales como automatizadas.

El capítulo 4, trata de la **representación del conocimiento** y describe, en forma detallada, los modelos más utilizados, “clásicos” para la construcción de Sistemas Expertos: autómatas finitos, lógica simbólica, sistemas basados en reglas de producción, redes semánticas, marcos, guiones y orientados a objetos. Las otras representaciones que se presentan son el algoritmo ID3 y el clasificador Holland. Para tener un panorama más amplio en esta materia, se recomienda consultar las notas: “Conocimiento para compartir: Representación del Conocimiento y Sistemas Expertos” [Sergio Marcellin, 2010].

## Capítulo 1: ¿Qué es Conocimiento?

La naturaleza del conocimiento ha sido discutida por psicólogos, filósofos, lingüistas, educadores y sociólogos por cientos de años. Debido a que la metodología de investigación en Inteligencia Artificial necesita diseñar programas que muestren un comportamiento "inteligente", los investigadores han adoptado una posición pragmática en lo que se refiere al conocimiento.

El objetivo de este capítulo es analizar el concepto de **conocimiento**. Nuestro estudio empieza a partir de la descripción filosófica del conocimiento, tocando los siguientes puntos fundamentales: la posibilidad y la esencia, el origen, las formas y la adquisición. Termina con reflexiones sobre el control, los conflictos, la distribución y la riqueza del conocimiento en la sociedad contemporánea.

### Definición Filosófica de Conocimiento

El **conocimiento** se define como...

"la acción y efecto de aprender mediante la actividad intelectual, la realidad individual y concreta y las relaciones existentes entre las cosas o conceptos"

[SALVAT 1971].

Como todos nuestros conocimientos se formulan en juicios, y estos tienen sus fuentes ya sea en la percepción sensible o en ciertos axiomas que suponemos evidentes, es preciso averiguar si efectivamente nuestras percepciones corresponden a la realidad y si los axiomas corresponden también con la realidad. La rama de la filosofía que aspira a aclarar estas cuestiones es la **teoría del conocimiento o Gnoseología**.

Una de las más graves y profundas cuestiones que se plantea la filosofía es la que se refiere al conocimiento humano. Como nuestro conocimiento es conocimiento de objetos, es decir de

cosas que parecen existir independientemente de nosotros, se trata de averiguar si es posible alcanzar a conocerlos en realidad, o bien si existen límites para dicho conocimiento.

Otra cuestión es la que se refiere al origen o a la fuente de nuestro conocer. ¿El conocimiento se deriva de la experiencia o de la razón?

Una tercera cuestión se refiere a la esencia del conocimiento. Se trata de la relación sujeto y objeto ¿Existe realmente el objeto o es el sujeto quien determina el objeto?

Un cuarto problema es el que se plantea con respecto a las formas del conocimiento. ¿Además del conocimiento racional hay otra clase de conocimiento, un conocimiento intuitivo?

Se plantea la cuestión del criterio de la verdad. Se trata de tener un signo que nos diga en un caso concreto si un conocimiento que poseemos es verdadero o no. Por último, relacionamos conocimiento y sociedad.

## **La posibilidad y la Esencia del Conocimiento.**

Este problema se refiere al valor de nuestro conocimiento. Se trata de saber si es posible conocer algo y si ese conocimiento tiene algún valor; se estudia que tan determinante es la relación objeto-sujeto en el conocimiento y se resumen algunas posturas fundamentales.

1. **El dogmatismo.** Esta posición que es la más antigua, afirma la posibilidad del conocimiento. Considera que el contacto entre el sujeto y el objeto es real. No se preocupa de examinar el poder cognoscitivo de la inteligencia.
2. **El escepticismo.** Esta doctrina niega que el sujeto pueda aprender el objeto, y tener por consiguiente conocimiento de él. Como extiende la duda a todos los conocimientos, resulta que es preciso abstenerse de formular cualquier juicio. El fundador de esta doctrina fue Pirrón de Elis.
3. **El subjetivismo y el relativismo.** Estas dos tendencias derivan del escepticismo. Mientras el *escepticismo* enseña que no existe un conocimiento verdadero y cierto, el subjetivismo y el relativismo sostienen que hay una verdad pero que su validez es limitada.  
Para el *subjetivismo* la verdad es algo que depende totalmente del individuo, de su estructura psicológica.  
En el *subjetivismo* el sujeto determina al objeto. No se trata de un sujeto individual, concreto, sino de un sujeto superior



trascendente (por ejemplo Dios). Esta doctrina es defendida por San Agustín, Hermann Cohen y Plotino.

Para el *relativismo* la verdad depende de factores externos como la época, la influencia del medio, el círculo cultural o político, etcétera y no radica en la naturaleza del sujeto.

5. **El objetivismo.** Se sostiene la determinación del sujeto por parte del objeto. El sujeto reproduce las cualidades del objeto. esto se encuentra como algo situado en el exterior frente a la conciencia del sujeto. Esta doctrina es defendida por Platón y Edmund Husserl.

6. **El realismo.** Según el cual existen cosas reales independientes de la conciencia que las conoce. Le parece natural considerar, que las cosas que están fuera de nosotros y nosotros mismos, son tales como las percibe la conciencia. A esta postura se le conoce como realismo ingenuo.

El realismo crítico considera que las propiedades o cualidades de las cosas tales como los colores, los sabores, los sonidos, etc., sólo existen en nuestra conciencia y surgen cuando determinados estímulos actúan sobre nuestros órganos sensoriales. Las percepciones solamente son fenómenos de nuestra conciencia y dependen de la naturaleza de ésta. Defienden esta postura Demócrito, Aristóteles, Galileo, Descartes, Hobbes y Locke.

7. **El idealismo.** Sostiene la tesis de que no existen cosas reales independientemente de la conciencia que conoce. La única realidad son nuestras percepciones, nuestra conciencia con sus contenidos, por esta razón se llama también a esta posición conciencialismo o idealismo subjetivo (psicológico). El idealismo objetivo ó lógico toma como punto de partida la objetividad de la ciencia. Esta objetividad, se hace manifiesta en la conciencia, como una serie de pensamientos, de juicios, de raciocinios y no como un cúmulo de procesos psicológicos. Defienden a esta postura Berkeley, Fichte y Hegel.

8. **El fenomenalismo.** Esta doctrina trata de conciliar las dos tendencias opuestas, la del realismo y la del idealismo. El fenomenalismo sostiene que no conocemos las cosas como son en sí, sino como se nos aparecen. Considera que existen cosas reales pero que no podemos conocer su esencia, su naturaleza íntima. Lo único que nos es dado conocer son los fenómenos, es decir contenidos de conciencia. El fundador de esta doctrina es Manuel Kant.

9. **El pragmatismo.** Para el *pragmatismo* lo verdadero significa lo útil, lo valioso, lo que fomenta la vida. La finalidad de la inteligencia no es descubrir verdades teóricas sino actuar en la realidad. De manera que será verdad todo aquello que le permita actuar con congruencia en la vida, todo aquello que le resulte útil y provechoso especialmente para la vida social.
10. **El criticismo.** Es una posición intermedia entre el *dogmatismo* que tiene una fe ciega en la razón y el *escepticismo* que niega toda posibilidad de conocimiento verdadero. El *criticismo* examina el poder cognoscitivo mismo. Investiga las fuentes del conocimiento y distingue entre los problemas que puede resolver y aquellos otros que están fuera de su alcance y que por lo tanto permanecen sin solución. El fundador de esta doctrina es Manuel Kant quien considera que lo único que conocemos del mundo son las representaciones, las apariencias de los objetos, es decir los "fenómenos" que nuestra inteligencia ordena en el espacio y en el tiempo [FINGERMAN 1976].
11. **El positivismo.** El positivismo sostiene que existen límites para nuestro saber como para nuestro no-saber. Limita el valor del conocimiento al campo de la experiencia, es decir a los fenómenos y a sus relaciones. Restringe su acción a las ciencias positivas considerando solamente los hechos, puesto que no podemos conocer la esencia de las cosas. El fundador de esta doctrina fue Augusto Comte.

## El Origen del Conocimiento

Se nos plantea aquí cual es el factor determinante en el conocimiento, si la experiencia o la razón, es decir cuales son las fuentes de donde se derivan nuestros conocimientos. Las doctrinas más importantes son:

1. **El racionalismo;** Esta doctrina encuentra en el pensamiento, en la razón, la fuente más importante y más decisiva para el conocimiento. Sólo los juicios fundados en el pensamiento poseen necesidad lógica y validez universal, es decir que el juicio formulado debe ser un resultado forzoso, una consecuencia necesaria y válida en todas partes y para todos los seres racionales. Esta postura ha sido defendida por: Platón, Sócrates, Descartes y Leibniz.
2. **El empirismo;** El empirismo sostiene la tesis de que la única fuente del conocimiento humano es la experiencia. Todas nuestras ideas y conocimientos aún los más abstractos y generales, derivan de la experiencia. Defienden

esta postura John Locke y David Hume. Existe una variante definida por el filósofo francés Condillac, quién transformó el empirismo en sensualismo porque solo admite la percepción exterior mediante los sentidos negando la existencia interna.

3. **El intelectualismo;** Esta dirección trata de conciliar el racionalismo con el empirismo. Considera que ambos factores participan en la producción del conocimiento, sin embargo el conocimiento arranca de la experiencia aunque la razón intervenga. Esta doctrina fue sostenida por Aristóteles y Santo Tomás de Aquino.
4. **El apriorismo;** Para el apriorismo las únicas fuentes del conocimiento son los datos y la razón anteriores a la experiencia. Afirma que nuestro conocimiento se forma de ciertos conocimientos a "priori" que **no** son derivados de la experiencia. Esta doctrina tiene como fundador a Emmanuel Kant.

## Las Formas del Conocimiento

Se trata de saber cuáles son las especies de conocimiento, es decir en qué forma conocemos un objeto.

Todos o casi todos nuestros conocimientos son adquiridos mediante operaciones lógicas. Según los intuicionistas, hay una intuición racional, otra emocional y otra volitiva, cuyos órganos de conocimiento son respectivamente, la razón, el sentimiento y la voluntad. En los tres casos hay un conocimiento del objeto. De manera que si consideramos en cada objeto tres aspectos, la esencia, la existencia y el valor, tendremos tres clases de intuición de un objeto: para la intuición de la esencia servirá la razón, para la intuición de la existencia la voluntad y para la intuición de los valores la emoción.

Algunos autores admiten la intuición pero sólo para los valores éticos o estéticos. No niegan que muchas veces las hipótesis y las teorías científicas, lo mismo que los sistemas metafísicos, descansan en intuiciones, que se adelantan a las investigaciones que tienen que seguir avanzando paso a paso. Toda intuición por más luminosa que sea, debe resistir para su validez la prueba de la inteligencia. En conclusión, las intuiciones si pueden suministrar ciertos datos para el conocimiento, pero es menester que estos datos sean elaborados e interpretados por el pensamiento.

## El Problema de la Verdad

La verdad del conocimiento está ligada a la esencia del conocimiento. Es evidente que sólo hay conocimiento cuando éste es verdadero; un conocimiento falso es un contrasentido.

La verdad siempre se expresa en un juicio; por consiguiente sólo los juicios pueden ser verdaderos o falsos. Los objetos no son ni verdaderos ni falsos; son reales, ideales o imaginarios. Ahora bien, ¿cuándo es verdadero un conocimiento? Cuando existe una concordancia entre el conocimiento y el objeto.

Emparejada a esta cuestión aparece otra denominada criterio de la verdad, esto es. aquella que se pregunta por la certeza de un conocimiento. Para Kant el criterio de verdad debe ser universal, aplicable a todos los conocimientos sin distinción de objetos y no puede tener un carácter únicamente formal. A este criterio se le llama de Asentimiento Universal.

Resulta pues, de todo lo que dejamos expuesto [FINGERMAN 1976]:

1. Que el sujeto no crea, funda ó pone por si lo conocido, ni su presencia, sino que son recibidos.
2. Que los elementos receptivos son la base ó la materia sobre la cual obra el sujeto cuando piensa, dando forma a la representación intelectual.
3. Que el sujeto colabora con la presencia de lo cognoscible a la formación del conocimiento.
4. Que el conocimiento es como conjunción de lo receptivo con lo activo ó de la materia (lo objetivo) con la forma (lo subjetivo).

Desde el punto de vista de la inteligencia Artificial lo que nos interesa es el carácter pragmático del conocimiento, en donde la finalidad no es descubrir verdades teóricas sino actuar en la realidad.

En lo que resta de este capítulo, se presentan comentarios que muestran la importancia que tiene el concepto de conocimiento dentro de nuestra sociedad como parte de las ideas expuestas por los estudiosos de la civilización de éste fin de siglo y del próximo milenio (Toffler 1994, Sakaiya 1992).

## **La adquisición del conocimiento.**

Seguramente al comprar hoy un producto (un televisor, un radio, una camisa, ..... ) en México, implique mandar dólares a Japón o a Malasia y no necesariamente guardarlos en el país donde se efectuó la compra.

Las estrategias comerciales actuales se centran en la circulación de dinero; se prevé en un futuro cercano, que se fundamenten en la circulación de conocimientos.

En los países desarrollados, la era industrial está siendo desplazada por la economía supersimbólica. En este tipo de economía, se crea riqueza en función de la comunicación y de la distribución instantánea de datos, ideas, y símbolos. Esta economía está basada en computadoras. La función principal del grupo de gentes involucrada -investigadores, científicos, analistas, por citar algunos - en este tipo de trabajo, es transferir información de un lado a otro y/o generar más información. Su trabajo es simbólico, mental. La transición del trabajo manual al trabajo intelectual es un hecho. La actividad supersimbólica se ha generalizado. Estas actividades representan las tres cuartas partes del empleo total en los países industrializados.

El desempleo ha pasado de ser cuantitativo a cualitativo. Resulta imposible reducir la carencia de trabajo con sólo aumentar los puestos. Para satisfacer las exigencias de los "nuevos" puestos dentro de la sociedad supersimbólica, es necesario primero, proporcionar los niveles adecuados de conocimiento. El conocimiento que se requiere para desempeñar tareas especializadas normalmente se obtiene con las técnicas profesionales propias a una formación superior.

El trabajador "moderno" debe ser capaz de conseguir, intercambiar y muchas veces de producir información.

Cualquier estrategia para reducir el desempleo, en un futuro cercano, deberá depender de la asignación de conocimientos; esto es, preparar mejor a la gente, mediante programas de formación directamente relacionados a las actividades de los nuevos puestos de trabajo. La importancia de la adquisición de conocimiento en nuestros días es tal, que retomamos el tema en el capítulo 3, para describir las principales técnicas de adquisición existentes.

## El control y manejo del conocimiento

El poder en las empresas del mañana, estará en manos de las personas que tengan la mejor información. Es un hecho que la lucha mundial por el poder estará basada en la información y en el conocimiento que se pueda producir.

También sabemos que la supervivencia de las empresas depende cada día más de una serie de productos y servicios innovadores. La creatividad necesita abrirse a la imaginación y al deseo de descubrir cosas nuevas. Esto, resulta contradictorio. Por una parte existe la necesidad de canalizar y de controlar de cerca la información y por otra la necesidad de innovar.

Cuanto más seguro sea un sistema empresarial de información, y cuanto mejor protegido, predefinido, preestructurado y regulado este, menos creativo resulta el ambiente de trabajo.

En las economías llamadas avanzadas no solo basta ser innovador. La empresa tiene que tener la información y los sistemas adecuados para sacar sus nuevos productos al mercado *rapidamente*, antes de que un competidor le gane o le copie sus productos o sus ideas.

El control y *manejo* de la información es punto clave en la vida de las organizaciones. El poder cambia de manos a medida que la información cambia de dueño. Los gastos y el manejo para tener información y así conocimiento, son los elementos que plantearán los mayores conflictos organizacionales del futuro.

Los conflictos que se generan con respecto a quién debe tener la información son los que veremos cada vez con más frecuencia aparecer dentro de las organizaciones y generalmente traducidos a simples problemas técnicos.

Conforme crece la economía supersimbólica, los gastos empresariales para el tratamiento del conocimiento aumentan. Sólo una parte de estos gastos se destina a equipo de cómputo y a sistemas de información (tecnología de la información). Cuando una compañía asigna presupuesto para tecnología de la información empiezan las disputas para definir el monto correspondiente, versus las demás áreas dentro de la empresa.

Existen también conflictos en la información en sí. ¿Quién consigue uno u otro tipo de información? ¿Quién tiene acceso a las bases de datos? ¿Quién puede agregar datos a las bases de datos? Estos conflictos afectan a las personas y por lo tanto a

las empresas. Para minimizarlos, es necesario normar el conocimiento dentro de la organización.

## **La distribución del conocimiento.**

Los trabajadores de hoy, exigen tener acceso a la información, pues sin ella - argumentan - no pueden hacer su labor en forma eficiente. Estamos asistiendo a una redistribución del conocimiento y por tanto del poder, que se está haciendo necesaria por las nuevas condiciones de los mercados y por las nuevas tecnologías ligadas a las computadoras y a los sistemas de información y de comunicación.

Las empresas requieren más datos, más información y más conocimiento para funcionar. El componente "información" en las actividades de una empresa se va haciendo cada vez mayor. Ya no basta con limitarse a producir y entregar productos. Los clientes quieren saber, tener información: ¿que materias usan, cuánto tiempo duran, que características tienen, como se destruyen, se reciclan, etc.....

## **Los resultados del conocimiento**

**"Si no se intercambia conocimiento,  
no se crea riqueza"**

El conocimiento como fuente de ingresos en la empresa sobrepasa los activos y no está reportado en los estados financieros. No existen medios dentro de los sistemas actuales en las organizaciones que permitan reflejar y medir el valor de los conocimientos como activo.

El problema es:

¿Cómo medimos el valor del conocimiento de una persona?  
¿Cómo cuantificamos los conocimientos de un experto?

En una empresa no basta establecer objetivos; hay que sentirlos; no es suficiente declarar que se hace participar a la gente y reunirla sólo para que se apruebe la decisión del jefe. Detrás de las empresas exitosas están sus filosofías y valores. En todas éstas, encontramos administradores comprometidos en hacer negocios, no en vivir de los negocios. Asistir a la empresa no

implica producir, utilizar media hora quejándose con los compañeros, no es trabajar. Las personas que trabajan en las organizaciones son las que heredan y proyectan en la sociedad la filosofía y los valores de estas.

El *nuevo "héroe"* es el que combina el conocimiento con la acción. Las nuevas tecnologías están haciendo posible que la producción local -en pequeña escala- se vuelva competitiva versus la producción de los "gigantes". Se están creando nuevos centros de poder y se está dando por primera vez desde el inicio del siglo, el fenómeno de la descentralización de las ciudades: *el éxodo citadino*.

## **El conocimiento para compartir.**

Al hablar de conocimiento fundamental es instintivo pensar en la educación y sobre todo en su calidad. Hoy la excelencia educativa en las Universidades es equivalente a decir: "fabrica de conocimientos o fracaso asegurado"; tal es el lema, aseguran la mayoría de los alumnos. Se confunde información con conocimiento.....

### **Como transmitir conocimiento?**

Muchos pueblos antropófagos abrían el cráneo de sus enemigos para comer parte de su cerebro, en un intento de apropiarse así de su sabiduría, de sus mitos y de su coraje.

"En este libro estoy dandote a comer algo de mi propio coco.... y de mi experiencia que no siempre aprendí de los libros". En el capítulo 2 se presenta un panorama completo de quienes lo tienen y de como se puede transmitir el conocimiento.

### **Para que sirven los conocimientos?**

Abundan los conocimientos muy interesantes pero sin los cuales uno se las arregla bastante bien para vivir. Se puede vivir de muchos modos pero hay modos que no dejan vivir.

### **Ética, hombre, inteligencia, máquinas.**

La ética es el saber o arte de vivir lo mejor posible y de elegir lo que más nos conviene. Para lo único que sirve es para mejorarse a uno mismo, se ocupa de lo que hacemos (tú, yo o cualquiera) con su *libertad*.

No sabemos para que sirven los seres humanos?.... y por lo tanto no es fácil definir cuando se es un buen humano o uno malo.

La inteligencia debe saber reír..... [Savater 1991].



La información se puede ver como un catalizador que permite coordinar acciones aisladas para lograr propósitos comunes (BRACHO 1996). El uso de la información por un grupo de personas es el que produce conocimiento.

**Definición de Conocimiento para fines de la construcción de Sistemas Expertos o Basados en Conocimiento:**

El *conocimiento* es un recurso crucial y en principio, infinitamente ampliable; no se agota y cualquiera lo puede adquirir.

Tomando la definición de *conocimiento* dada por Alvin Toffler [Toffler 1994], diremos que incluye: información, datos, imágenes e imaginación, actitudes, valores y "productos simbólicos", que pueden ser ciertos, aproximados o incluso falsos. Los medios y canales de comunicación también se incluyen dentro del término *conocimiento*.

El "*know-how*", "*savoir faire*" o *conocimiento* dentro de las organizaciones, gira alrededor de la conectividad de equipos, del intercambio de información entre aplicaciones y del uso de las herramientas para los usuarios finales.

Cuando la información toma la medida del "*saber hacer*" es cuando se convierte en el ingrediente primario y estratégico dentro de una organización; es el resultado de *tratarla bajo nuevos enfoques*, innovando su relación con los individuos y con los objetivos de las áreas involucradas.

En resumen, conocimiento es la capacidad de convertir datos e información en acciones, es decir, en "saber hacer" [Marcellin 2009].

La sociedad del siglo XXI, es una sociedad de información y de *conocimiento*, que sin él, no habrá *riqueza* en el futuro.

## REFERENCIAS

[FINGERMAN 1976]

*"Filosofía"*

Gregorio Fingermann

Editorial 'El Ateneo', Buenos Aires, 1976.

[HESSEN 1925]

*"Teoría del Conocimiento"*

J. Hessen

Ediciones Quinto Sol, S.A. de C.V., 1994.

[MARCELLIN 2009]

*Notas del Curso: "Construcción de Sistemas Expertos"*,

Marcellin Jacques Sergio

Posgrado en Ciencia e Ingeniería de la Computación,

UNAM, 2009.

[OBREGON 1992]

*"Inteligencia Artificial y Sistemas Expertos"*

Arturo Obregón Sánchez

Notas de la Maestría en Ciencias de la Computación, IIMAS-UNAM, 1992.

[PELAYO 1993]

*"Pequeño Larousse ilustrado"*

Ramón García Pelayo y Gross, 1993.

[TOFFLER 1994]

*"El cambio del poder"*

Alvin Toffler

Plaza & Janes Editores, 1994.

[SAKAIYA 1992]

*"The Knowledge-Value Revolution"*

Taichi Sakaiya

Kodansha International Ltd., 1992.

[SALVAT 1971]

*"Enciclopedia Salvat"*

Salvat Editores, S.A, Barcelona, 1971.

[SAVATER 1991]

*"Ética para Amador"*

Fernando Savater

Editorial Ariel, S.A., 1991.

## Capítulo 2: ¿Quiénes lo tienen?

Dentro de las organizaciones existen especialistas humanos (expertos en algún área del conocimiento), cuya experiencia y conocimiento les aporta grandes beneficios para que sigan siendo competitivas. ¿Pero qué pasa si algún experto decide salirse de la organización? ¿La organización perderá todo el conocimiento y experiencia del experto?. Si un experto decide abandonar una compañía, la solución para ésta no pierda el conocimiento y experiencia del especialista es desarrollar un sistema experto, el cual es un conjunto de programas que intenta codificar los conocimientos y reglas de decisión de los especialistas humanos de manera que los usuarios puedan aprovechar esta pericia al tomar sus propias decisiones. El desarrollo de un sistema experto tiene como objetivo preservar los conocimientos que se perderían si se retira, renuncia o muere un experto de la compañía. Otro objetivo es "copiar" la pericia de un experto con el fin de adiestrar a los trabajadores nuevos en diferentes localidades, de manera que puedan trabajar como lo hace el experto. A fin de desarrollar un sistema experto, se requiere que una o varias personas (también especializadas en Ingeniería del Conocimiento), dediquen algún tiempo para analizar las mentes de los especialistas para extraer y estructurar los conocimientos que son la base de pericia. Estas personas se conocen como Ingenieros del Conocimiento.

El término Ingeniería del Conocimiento es usado para describir el proceso de la construcción de Sistemas Expertos, y por lo tanto a quienes los construyen se les conoce como ingenieros del conocimiento.

El Ingeniero del Conocimiento es quien desempeña el papel principal en el desarrollo de un sistema experto. Las otras personas que participan proporcionan informaciones de entrada o salida, pero el Ingeniero del Conocimiento es quien debe finalmente analizarla y estructurarla.

Un Ingeniero del Conocimiento "*ideal*" debe estar familiarizado con muchas áreas tales como la psicología, neurofisiología, lógica formal, estadística, así como con la terminología utilizada por los expertos del dominio que se está estudiando.

El modelo básico de la Ingeniería del Conocimiento está sustentado en el hecho de que el Ingeniero del Conocimiento debe actuar como un mediador entre el experto y la base de Conocimientos, extrayendo el conocimiento del experto, codificándolo en la Base de Conocimientos y refinándolo en colaboración con el experto hasta alcanzar una ejecución aceptable. La Fig. 2.1 muestra este modelo básico de Adquisición manual del conocimiento a partir de un experto:

- El Ingeniero del Conocimiento entrevista al experto para extraer su conocimiento.
- El Ingeniero del Conocimiento codifica el conocimiento adquirido en la Base de Conocimientos.
- El shell utiliza la Base de Conocimientos para realizar inferencias sobre un caso en particular.
- Los usuarios finales utilizan el shell para obtener "consejos" sobre casos particulares.

A continuación se describen las actividades de la gente que trabaja con el Ingeniero del Conocimiento.

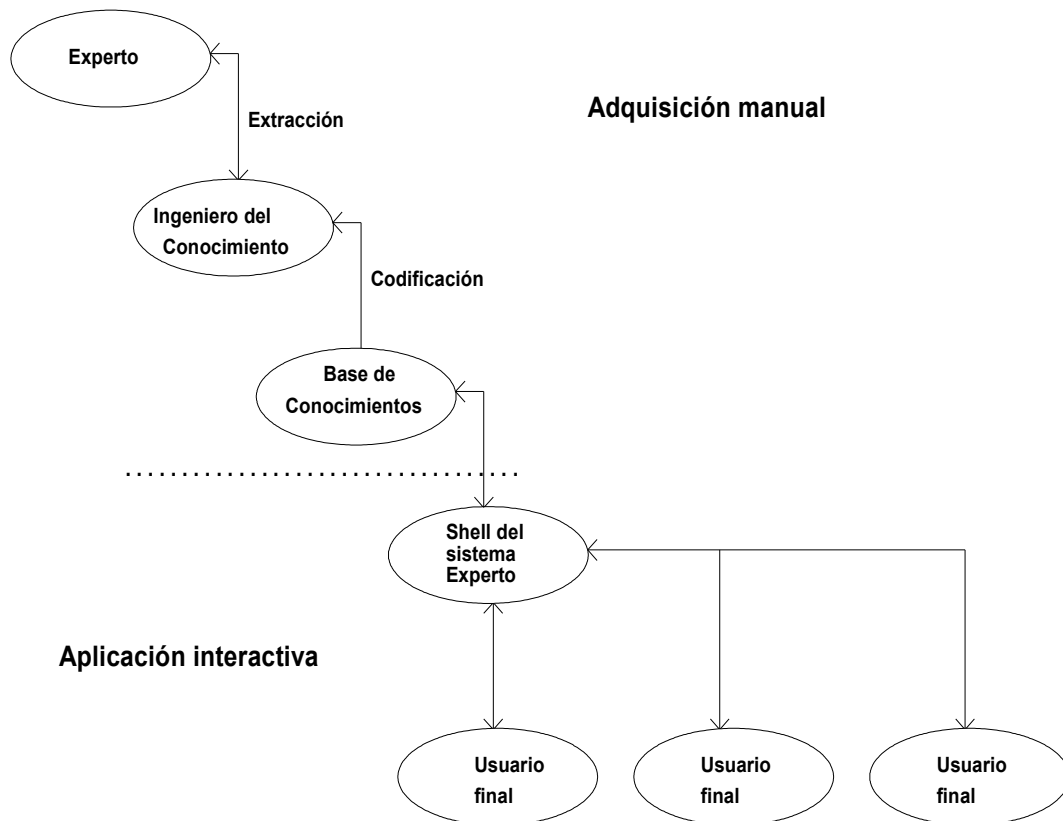


Figura 2.1: Modelo básico de la Ingeniería del Conocimiento.

## **Los Directivos.**

Los directivos deben inicialmente definir y aprobar la tarea a desarrollarse. Posteriormente seleccionan un equipo apropiado y son los que finalmente eligen al Ingeniero del Conocimiento y a el (los) experto(s) del dominio asignados al proyecto. El soporte proporcionado por los directivos es básico para el desarrollo de un Sistema Experto útil, pues son quienes proporcionan los recursos, equipo y tiempo.

## **Los Expertos.**

Para construir un Sistema Experto útil se requiere que exista una interacción intensiva entre el Ingeniero del Conocimiento y el experto del dominio.

## **Los Usuarios Finales.**

Los usuarios finales son probablemente la fuente más importante de información y dado que son los que utilizarán el Sistema Experto; es deseable que estén involucrados desde el principio del desarrollo.

La información que proporcionan los usuarios involucra los siguientes tópicos:

- Las necesidades para la aplicación.
- La terminología utilizada.
- Niveles de habilidad.
- Los recursos disponibles para responder preguntas.
- Cuando la solución es total.

## **La elección del Ingeniero del Conocimiento.**

Para seleccionar al Ingeniero del Conocimiento o al equipo de Ingenieros del Conocimiento se debe tomar en cuenta que es deseable que estos cuenten con ciertas habilidades. El Ingeniero del Conocimiento que sea integrado a un proyecto debe poseer fuertes habilidades en ingeniería de software, en ingeniería del conocimiento y habilidades interpersonales.

### **Habilidades en Ingeniería de Software.**

Un Sistema Experto finalmente es un programa, por lo cual las habilidades del o los Ingeniero(s) del Conocimiento deben incorporar la comprensión de algoritmos fundamentales y estructuras de datos, así como habilidades para evaluar la eficiencia de algoritmos alternativos y representaciones de datos. La habilidad para el diseño del software es importante para el desarrollo de una Base de Conocimientos bien diseñada que pueda ser entendida y extendida por las personas que realicen su mantenimiento.

Dependiendo del medio ambiente de operación del Sistema Experto, el Ingeniero del Conocimiento y su equipo necesitarán habilidades de diseño de interfaces con el usuario y habilidades de integración de software.

### **Habilidades en Ingeniería del Conocimiento.**

El Ingeniero del Conocimiento debe transformar el conocimiento del experto en una Base de Conocimientos. Para realizar esta transformación, este debe estar familiarizado con el shell del Sistema Experto que es utilizado para construir el sistema. Debe entender la inferencia incorporada y los mecanismos de control y razonamiento provistos por la máquina de inferencia.

El Ingeniero del Conocimiento debe saber qué formalismos de representación soporta el shell y cómo la máquina de inferencia utiliza cada forma de representación. Adicionalmente, si se cuenta con varios shell's, el Ingeniero del Conocimiento deberá ser capaz de evaluar los intercambios entre las maneras alternativas de representar el mismo conocimiento.

En caso de que el proyecto desarrollara su propio shell en lugar de utilizar uno ya existente, se necesitará una base sólida de conocimientos en Inteligencia Artificial. Finalmente es importante que el Ingeniero del Conocimiento esté familiarizado con varios paradigmas de control, inferencia y representación.

## Habilidades Interpersonales.

La Adquisición del Conocimiento depende fuertemente de las habilidades interpersonales del Ingeniero del Conocimiento, y de manera especial de su habilidad de comunicarse efectivamente y de trabajar adecuadamente con otros.

Para dirigir al experto en diversos campos con el fin de articular sus estrategias de resolución de problemas y razonamiento, el Ingeniero del Conocimiento debe expresarse de manera clara y precisa.

La naturaleza colaborativa del desarrollo de un Sistema Experto requiere que el Ingeniero del Conocimiento sepa trabajar en equipo. Debe ser capaz de trabajar cooperativamente con los otros miembros del proyecto, ser sensitivo tanto al talento como a las necesidades de sus compañeros de equipo.

## Proceso de Interacción entre el experto y el Ingeniero del Conocimiento.

Esta interacción consiste de entrevistas realizadas en un periodo de tiempo. Un ingeniero experimentado, sabe que un experto asume que muchos hechos o procedimientos son evidentes, de manera que parte de su expertez puede no estar definida. Si esto ocurre, el sistema podrá resultar debilitado o más aún producir una falla. Para minimizar este riesgo, el ingeniero debe hacer preguntas que ayuden al experto a definir los detalles. La Fig. 2.2 muestra un diagrama de algunos elementos de dicho proceso de interacción.

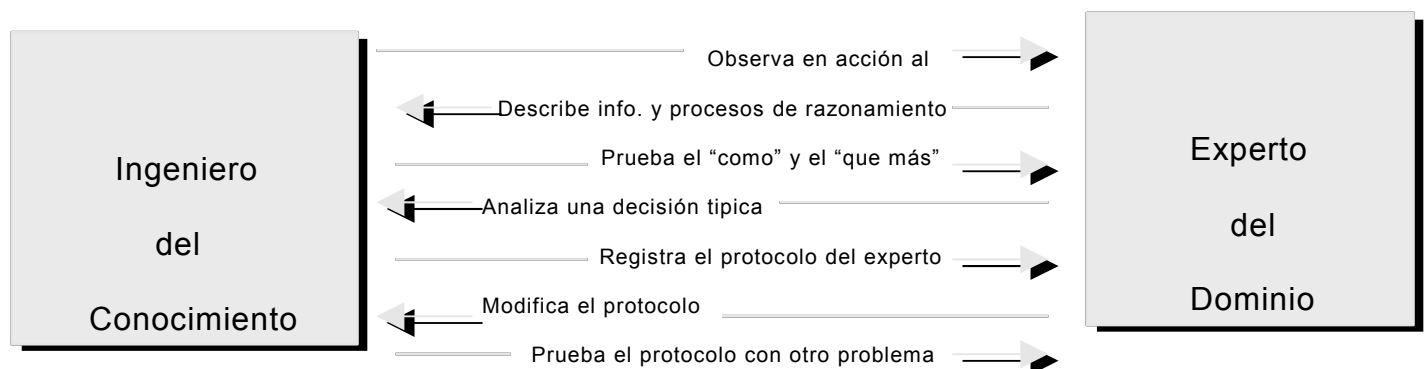


Figura 2.2- Proceso de Interacción

Inicialmente el Ingeniero del Conocimiento debe observar como el experto realiza las tareas y toma decisiones, ya que de esta manera el

experto describe los tipos de información, conocimiento y procedimientos que incorporan sus actividades.

De esta manera el ingeniero adquiere la suficiente información para comenzar a escribir un protocolo general de los procesos del experto.

Este protocolo es un trazo de los pasos realizados por el experto para realizar una tarea. Este trazo sirve como base para cuestionar al experto. Si el ingeniero encuentra inconsistencias o piezas faltantes en el protocolo, debe realizar las preguntas apropiadas para obtener más información.

El propósito de la elaboración de este protocolo, es documentar lo que hace el experto en la realización de una tarea.

Una vez que el ingeniero ha entendido todo el proceso, la herramienta constructora del sistema puede ser seleccionada. Finalmente, cuando el protocolo es más específico, el ingeniero crea una versión de un prototipo inicial. El experto presenta al ingeniero una serie de situaciones para probar el prototipo en la toma de decisiones. Una vez que el prototipo pasa todas las pruebas, comienza la codificación.

En ocasiones los expertos suelen desperdiciar mucho tiempo enfocándose en situaciones excepcionales en lugar de enfocarse en las actividades y decisiones de rutina.

Después de analizar esta información preliminar, el Ingeniero del Conocimiento produce varios resultados, algunos de los cuales formarán parte de la documentación. Entre los resultados producidos está la documentación de los procedimientos que el experto sigue así como los hechos a tomarse en consideración. El proceso de análisis ayuda también a tomar una decisión sobre la selección de la herramienta para la construcción del sistema que se utilizará en el desarrollo de la base de conocimientos. La mejor herramienta será aquella que encaja con el esquema de representación de la tarea. Si la tarea incluye el descubrimiento de información nueva, una herramienta que no utilice encadenamiento hacia adelante, es inapropiada. Por lo tanto el Ingeniero del Conocimiento debe tener un conocimiento minucioso de la tarea para seleccionar la herramienta con la que él y el experto puedan trabajar juntos para producir prototipos que conduzcan a un sistema que cubra todos los requerimientos especificados; el ingeniero del Conocimiento pertenece a una nueva generación de ingenieros y es deseable que cuente con una formación multidisciplinaria en las áreas de: computo y matemáticas; filosofía; neurofisiología; sicología y pedagogía; economía; sociología y antropología y finalmente administración.



## **Identificación del experto del dominio.**

En proyectos simples, un solo experto tiene tanto el conocimiento como la disponibilidad de tiempo para proveer todos los requisitos. Este experto tiene la autoridad para juzgar cuando el comportamiento del sistema es correcto. En otros proyectos, aplicaciones más complicadas, es necesaria la inclusión de más de un experto del dominio debido a que no existe una sola persona que tenga conocimiento de todos los aspectos de la tarea.

Los expertos del proyecto pueden ser seleccionados en reuniones que involucren al Ing. del Conocimiento, a la gente que ha sido seleccionada como posibles expertos del proyecto y a los directivos de cada experto. El Ing. del Conocimiento y los expertos deben discutir la tarea propuesta para decidir quien o quienes pueden proveer la expertez necesaria para cada componente de la tarea. El Ing. del Conocimiento debe proporcionar los estimados en tiempo que serán necesarios de cada experto, para que posteriormente los expertos y sus directivos decidan si el tiempo y las responsabilidades actuales les permiten trabajar en el proyecto o no.

Una vez que los expertos han sido identificados, el Ing. del Conocimiento, los expertos y sus directivos deben decidir la manera en la que los expertos serán incluidos en el proyecto. Si el proyecto obtiene información de un solo experto, este será miembro del equipo. Si el proyecto incluye a más de un experto, el grupo debe decidir cuando el equipo debe incluir a un experto o a más de uno.

## **Situaciones de conflicto durante la interacción con el experto.**

Los problemas que de manera general debe enfrentar el Ing. del Conocimiento surgen a partir de la interacción con el experto de dominio. A continuación se presentan los problemas más frecuentes acompañados con un planteamiento de posibles soluciones.

Durante el proceso de adquisición del conocimiento, pueden presentarse una serie de problemas originados cuando el experto intenta explicar lo que hace. a menudo los expertos utilizan terminología característica de su área y hasta en ocasiones crean su propia terminología para describir hechos y procesos de su propia experiencia. Esta terminología por lo general no es conocida por personas fuera del campo.

Por lo antes mencionado la primera dificultad para el Ingeniero del Conocimiento surge del desconocimiento de la terminología del experto.

La segunda dificultad es que el experto tiende a omitir muchos detalles específicos necesarios para realizar la tarea, por lo que el ingeniero debe estar seguro de que la mayor parte de los detalles están contemplados y explicados tan detalladamente como sea posible.

Si se ignoran las dificultades que el experto desarrolla durante la interacción con el Ing. del Conocimiento, este se vuelve poco cooperativo o no disponible. También es posible que el experto llegue a cansarse de estar aparentemente repitiendo y explicando muchas veces lo que para él es obvio. Si no se le enseñan resultados rápidos y no se puede mantener su entusiasmo sobre el proyecto, este podría dejar de prestar la suficiente atención a los detalles y afectar directamente a los resultados.

Por lo antes mencionado es adecuado dejar saber al experto lo que se está haciendo con la información adquirida, enseñar al experto a dirigir el proceso, animarlo a volverse más independiente de los modelos de trabajo y del área del problema que él utiliza en la resolución de los problemas.

Por otra parte si se puede obtener un nuevo caso del experto e implementarlo en pocos días, habrá muchas oportunidades de obtener una retroalimentación de como se está haciendo el sistema. Si el tiempo invertido entre la articulación de nuevos conocimientos y enseñar este conocimiento en uso, es corto, se tienen muy buenas posibilidades de mantener motivado a todo el equipo involucrado, aunque por supuesto, existirán periodos en los que toda la base de conocimientos necesite ser reestructurada. Esto puede involucrar varias semanas durante las cuales el Ing. del Conocimiento se enfoque en el diseño y codificación en lugar de la adquisición de nuevos conocimientos.

Debido a que es difícil tanto para el experto como para el Ing. del Conocimiento manipular todo el flujo de la conversación y probar los detalles del proceso de razonamiento del experto. Es mucho más fácil y menos estresante si dos Ingenieros del Conocimiento dividen estos roles. Se pueden alternar los roles para mantenerlos frescos al día.

## **Utilización de herramientas automatizadas de adquisición del conocimiento.**

Con el transcurso de los años y el avance de la tecnología, la labor del Ingeniero del Conocimiento como intermediario entre el experto y la Base de Conocimientos ha sido cuestionada no sólo por los altos costos, sino también por su efectividad, es decir de la pérdida de conocimiento a través del intermediario.

Tales consideraciones condujeron a la posibilidad de realizar la Adquisición del Conocimiento mediante herramientas automatizadas con las cuales el experto interactúe directamente. La Fig. 2.3 muestra como rol que desempeña el Ingeniero del Conocimiento ha ido cambiando a medida que se han ido utilizando tales herramientas.

La adquisición del Conocimiento interactiva así como las herramientas de codificación pueden reducir bastante la necesidad de que el Ingeniero del Conocimiento actúe como intermediario, sin embargo en la mayoría de las aplicaciones existe un rol importante para el Ingeniero del Conocimiento. Como se ve en la Fig. 2.3 el Ingeniero del Conocimiento es responsable de:

- Aconsejar al experto sobre el proceso interactivo de Ingeniero del Conocimiento.
  - Administrar las herramientas interactivas de Adquisición del Conocimiento, configurándolas adecuadamente.
  - Editar la Base de Conocimientos no codificada en colaboración con el (los) experto(s).
  - Administrar las herramientas de codificación de conocimiento, configurándolas apropiadamente.
  - Editar la Base de Conocimientos codificada en colaboración con el (los) experto(s).
  - Validar la aplicación de la Base de Conocimientos en colaboración con el (los) experto(s).
  - Configurar la interface con el usuario en colaboración con el (los) expertos y usuarios finales.
- Capacitar a los usuarios finales para el uso efectivo de la Base de Conocimientos en colaboración con el (los) experto(s) desarrollando procedimientos operacionales y de capacitación.

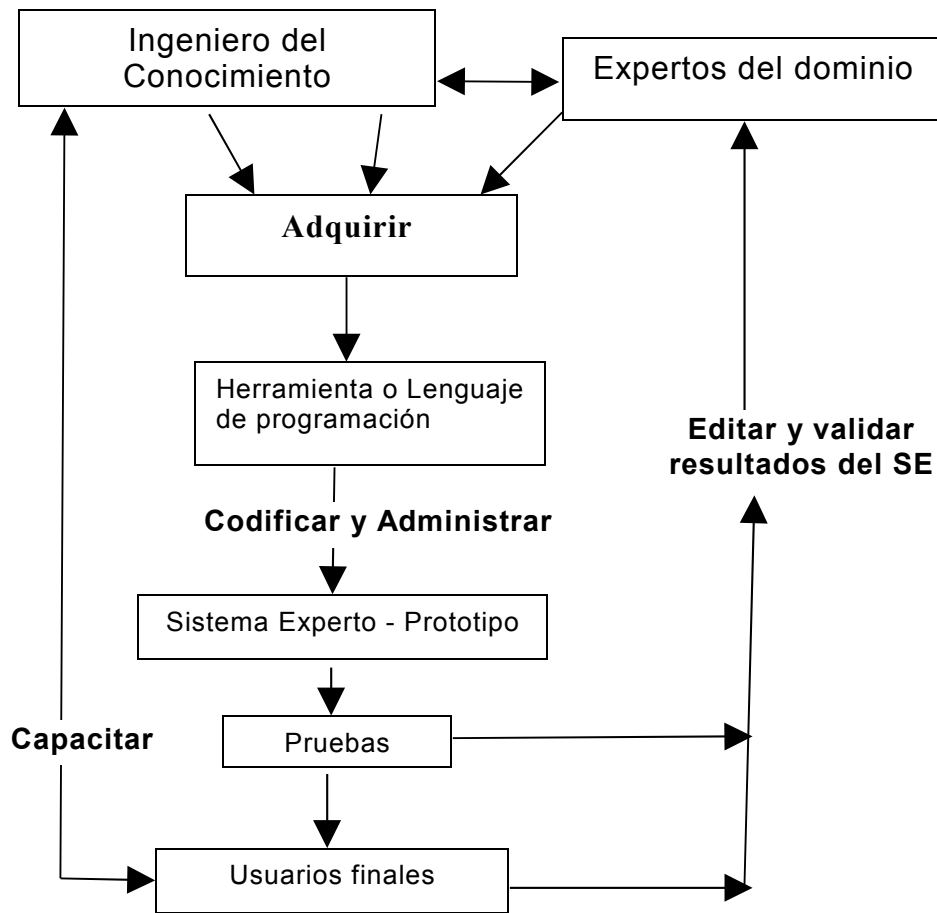


Figura 2.3. Rol del Ingeniero del Conocimiento utilizando herramientas automatizadas de Adquisición del Conocimiento.

La utilización de herramientas automatizadas para la Adquisición del Conocimiento puede ser combinada con la adquisición manual. El Ingeniero del Conocimiento puede directamente extraer el conocimiento del experto y utilizar las herramientas de adquisición interactiva para introducir el conocimiento en la Base de Conocimientos.

## REFERENCIAS

[BYLANDER-CHANDRASEKARAN 1988]  
*"Generic Tasks for Knowledge-Based Reasoning: the Right Level of Abstraction for Knowledge Acquisition"*  
Bylander T. Chandrasekaran B.  
Knowledge-Based Systems Vol. 1  
Academic Press Ltd., 1988.

[GAINES 1990]  
*"Knowledge Acquisition Systems"*  
Gainess B. R.  
Knowledge-Engineering Vol. 1  
Mc Graw Hill , 1990.

[LAFRANCE 1988]  
*"The Knowledge Acquisition Grid: a Metod for Training Knowledge Engineers"*  
Lafrance M.  
Knowledge-Based Systems Vol. 1  
Academic Press Ltd., 1988.

[LITTMAN 1988]  
*"Modelling Human Expertise in Knowledge Engineering: some preliminary observations"*  
Littman D. C.  
Knowledge-Based Systems Vol. 1  
Academic Press Ltd., 1988.

[SCOTT-GIBSON 1991]  
*"A Practical Guide to Knowledge Acquisition"*  
Scoot C. A., Clayton J. and Gibson E.  
Addison-Wesley, 1991.

[MITTAL-DIM 1985]  
*"Knowledge Acquisition from Multiple Experts"*  
Mittal S. and Dym C.  
A. I. Magazine Vol. 6 ,1985.

[SANCHEZ 1993]  
*"Adquisición del Conocimiento "*  
Tesis de Maestría, IIMAS-UNAM  
Sandra V. Sánchez Rivera., México, D.F., 1993.

## Capítulo 3: ¿Cómo se adquiere?

La Adquisición del Conocimiento es uno de los mayores retos durante la construcción de un Sistema Experto.

Este capítulo, presenta la Adquisición de Conocimiento dentro del contexto de la creación de los Sistemas Expertos. Al hablar de Sistemas Expertos es posible afirmar que la calidad de sus resultados, depende de la calidad de la información almacenada, lo cual sugiere, que una de las partes principales en la producción de un Sistema Experto es la Adquisición del Conocimiento. A pesar de la importancia de esta actividad, es relativamente poco lo que se ha investigado y publicado sobre este tema, en relación a los estudios existentes sobre las demás actividades involucradas en el desarrollo de los Sistemas Expertos.

La Adquisición del Conocimiento se puede entender como un proceso que incorpora dos actividades: 1) La obtención de la expertez o conocimiento del experto junto con su almacenamiento en la base de conocimientos y 2) la generación de conocimiento nuevo por parte del Sistema Experto a partir del conocimiento adquirido del experto a lo cual se le llamará aprendizaje de la máquina.

En el presente documento se estudia la Adquisición del Conocimiento enfocandola a la primera de las dos actividades antes mencionadas y se describen las técnicas más comunes tanto las que proponen un enfoque manual como las que utilizan un enfoque automatizado.

La Adquisición del Conocimiento es un proceso mediante el cual el Ingeniero del Conocimiento\* extrae el conocimiento (hechos, reglas, procedimientos, etc.) de una fuente (libros, revistas, publicaciones, programas, etc.) así como, la información necesaria para la construcción de un Sistema Experto; la analiza, la incorpora a la Base de Conocimientos y la refina. La Adquisición del Conocimiento se asocia usualmente a expandir las capacidades de un sistema o a mejorar su ejecución en alguna tarea específica. Para obtener tal información, el Experto del dominio<sup>1</sup> y el Ingeniero del Conocimiento deben trabajar juntos, siendo la disposición y buena voluntad de ambos un elemento básico.

---

<sup>1</sup>\* ver Capítulo 2.

Experto del dominio: persona cuyo conocimiento y experiencia son utilizados para producir información sobre un área de interés específica.

Gran parte de la dificultad en la Adquisición del Conocimiento radica en el hecho de que no es fácil para el experto describir como ve los problemas. Puede suceder que no pueda distinguir entre los hechos o creencias y los factores que en ese momento tienen influencia en su toma de decisiones. Gran parte de su expertez consiste en la manera en que él ve los problemas, es decir en su percepción y esto es, esencialmente, un problema psicológico.

## Antecedentes y Conceptos.

El problema de la Adquisición del Conocimiento de una persona experta es un tema que se ha tratado dentro del área de la Psicología. Revisando unos cuantos ejemplos, podemos mencionar a Hawkins (1983) quien analizó la naturaleza de la expertez y enfatizó sus enormes limitaciones para hacerla explícita. Bainbridge (1979, 1986) hizo notar que no existe necesariamente una correlación entre el comportamiento mental y los reportes verbales de tal comportamiento y que muchos psicólogos afirmaban que los datos verbales muchas veces eran inútiles. Dixon (1981) realizó estudios mostrando que gran parte de las actividades humanas que implican uso de conocimiento adquirido no son conscientes. Collins (1985) sugirió que es posible que parte del conocimiento no sea accesible a través del experto, no sólo porque este no sea capaz de expresarlo, sino también por no estar consciente de su significado. Los psicólogos clínicos ven este problema como una defensa cognitiva que limita la comunicación y han desarrollado técnicas de interacción verbal para identificar los procesos cognitivos fundamentales (Freud 1914, Kelly 1955, Rogers 1967). Hayes-Roth, Waterman & Lenat (1983) proporcionaron algunas guías para la transferencia del conocimiento de una persona experta a un Sistema Experto.

Antes de describir las principales técnicas o métodos para interactuar con un experto, es importante establecer que el conocimiento puede presentar ciertas *características* que ocasionan algunos problemas para su adquisición:

**-Conocimiento Fortuito:** Los resultados obtenidos pueden depender de características propias de una situación del dominio, la cual no es controlada por el experto.

**-Conocimiento Inconsciente:** Existe la posibilidad de que un experto no sea capaz de transmitir su expertez a otros por no poder evaluarla.

**-Conocimiento no expresable en lenguaje:** Es posible que un experto no pueda transmitir su expertez explícitamente al no poder expresarla.

**-Conocimiento no entendible al expresarlo en lenguaje:** Una persona puede no entender el lenguaje en el cual está expresada la expertez.

**-Conocimiento no aplicable:** Un aprendiz puede no ser capaz de convertir la expertez descrita en una ejecución o comportamiento experto.

**-Conocimiento expresado que puede ser incorrecto:** Los expertos pueden expresar frases que no corresponden a su comportamiento actual, provocando resultados incorrectos por parte del sistema experto.

La transferencia lingüística de la expertez es uno de los pilares en la Adquisición del Conocimiento. Esta transferencia del conocimiento debe ser tan extensa o limitada como el sistema lo requiera. El establecer el nivel de conocimiento experto que se puede o se desea introducir en la Base de Conocimientos, hace que el alcance y los resultados del sistema experto sean los esperados.

## **Aprendizaje.**

Para el estudio de la Adquisición del Conocimiento, el aprendizaje, es un concepto básico. Es pues indispensable entender su significado e identificar los tipos de aprendizaje que existen.

La definición que a continuación se propone, da una idea clara de lo que se debe entender como aprendizaje en el contexto de este trabajo.

"El aprendizaje es el proceso que involucra la obtención de nuevos conocimientos así como la aplicación y desarrollo de experiencias junto con modificación en el comportamiento del adquirente".

El aprendizaje de nuevo conocimiento se realiza de diferentes formas, dependiendo del tipo de material a ser aprendido, de la cantidad de conocimiento relevante que ya se posee y finalmente del medio ambiente en el cual se obtiene.



A continuación se presenta una clasificación de los *tipos de aprendizaje*. Esta clasificación sirve como una guía en el estudio o comparación de las diferencias entre estas. Esta clasificación es independiente del dominio del conocimiento y del esquema de representación utilizado. Esta basada en el tipo de estrategia de inferencia utilizada.

1.- **Aprendizaje por memorización.** Es la adquisición directa de nuevos conocimientos. Es la forma más simple de aprendizaje. Requiere la menor cantidad de inferencia. En un Sistema Experto se realiza mediante la copia del conocimiento en la misma forma que será utilizada directamente en la base de conocimientos.

2.- **Aprendizaje por instrucción directa o algorítmica.** Consiste en transformar la información desde un lenguaje fuente a una representación interna y posteriormente interpretarla en función de la utilización requerida. Este tipo de aprendizaje es útil cuando, por ejemplo, un profesor presenta directamente un número de hechos en una forma bien organizada.

3.- **Aprendizaje por analogía.** Es el proceso de aprendizaje de conceptos o soluciones nuevas a través del uso de conceptos o soluciones similares ya conocidas y con la consecuente adquisición de experiencia. Se utiliza este tipo de aprendizaje, por ejemplo, cuando se quiere obtener un nuevo programa de computo para desempeñar funciones similares a las expresadas en otro ya existente.

4.- **Aprendizaje por inducción.** Es un tipo de aprendizaje utilizado frecuentemente. Es una forma poderosa de aprendizaje que necesita una gran cantidad de inferencias de tipo inductivas. El aprendizaje inductivo se utiliza cuando se formula un concepto general después de haber revisado varias instancias o ejemplos de ese concepto. Por ejemplo, el concepto de sabor dulce se define después de haber experimentado la sensación asociada con muchos objetos de sabor dulce.

5.- **Aprendizaje por deducción.** Se realiza a través de una secuencia de pasos de inferencias deductivas utilizando hechos de principios generales para alcanzar una conclusión específica.

Adicionalmente a esta clasificación, existen métodos de Adquisición de conocimiento de propósito general y que se usan cuando ningún o poco conocimiento inicial está disponible; algunos ejemplos de este tipo de métodos son los algoritmos genéticos, los autómatas de aprendizaje o métodos con búsquedas heurísticas.

## Estados de la adquisición del Conocimiento.

El proceso de adquisición del conocimiento no consiste en un número preciso de pasos; sin embargo, se pueden identificar tres etapas:

- 1- Recolección de información.
- 2- Representación de tareas.
- 3- Construcción de un prototipo inicial.

La adquisición del conocimiento es un proceso cíclico como se muestra en la figura 3.1 que comienza con la elección del Ingeniero del Conocimiento y culmina cuando el y/o los expertos del dominio formulan y representan las tareas que serán ejecutadas por el futuro sistema experto.

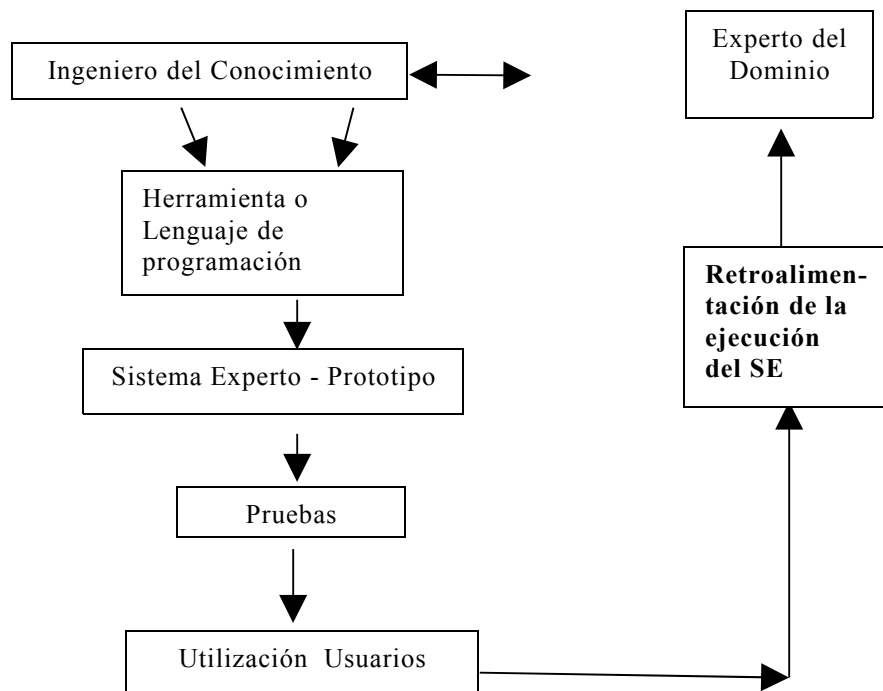


Fig.3.1:Ciclo en la Adquisición del Conocimiento.

### **Etapas 1: Recolección de información.**

En la construcción de un sistema experto, pueden intervenir varios expertos y/o ingenieros pero por lo general en la mayoría de los casos, solo participan un experto y un Ingeniero del Conocimiento (ver capítulo 2). Juntos definen que incluir y que excluir en el sistema y se lo comunican al resto de los integrantes del equipo de trabajo. Posteriormente, el experto define el alcance y naturaleza de las tareas y el ingeniero determina que subtareas están involucradas y si son segmentables o no.

Define los hechos que el experto utiliza para la realización de las tareas y las representa para que el sistema pueda repetirlas.

Cuando se tienen dudas sobre la veracidad de la información, se realiza una doble revisión de los datos para asegurar lo más posible la confiabilidad del sistema.

Al finalizar esta etapa, el Ingeniero del Conocimiento debe tener respuestas a las siguientes preguntas:

- ¿Cuáles son las tareas específicas que realizará el Sistema Experto?
- ¿Quién(es) utilizará(n) el sistema?
- ¿Cómo se integrará el sistema en el medio ambiente actual?
- ¿Quién(es) proporcionará(n) el conocimiento y la expertez para realizar el primer levantamiento de información?

### **Etapas 2: Representación de tareas.**

En esta etapa, el ingeniero debe aprender el proceso que sigue el experto para resolver el o los problemas que estaran integrados en el sistema experto. Además, debe determinar cuando y porque el experto emplea “reglas de dedo”, presentimientos o intuiciones.

Para obtener una comprensión minuciosa de los procesos del experto, el Ingeniero del Conocimiento debe ser capaz de responder detalladamente a las siguientes preguntas:

¿Qué pasos realiza el experto en la realización de una tarea? El conocimiento estratégico del experto es el que indica cual es el proceso a seguir para la realización de una tarea. Cualquier tarea puede verse como una secuencia lógica de pasos. El experto puede realizar una serie de pasos fijos o puede seleccionar diferentes pasos en diferentes casos. Todos los casos se documentan generalmente, en forma de diagramas.

¿Cómo razona el experto a partir de los datos de entrada para obtener los datos de salida? Un experto utiliza la información inicial conocida sobre el caso a resolver y a partir de sus conocimientos genera nueva información hasta llegar a una propuesta de posible solución.

Finalmente, el ingeniero debe solucionar los errores que surgen en el proceso de la representación del conocimiento y que ocurren cuando existe una diferencia entre la manera en la que el experto establece los hechos, reglas y procedimientos y la manera en la que el sistema los representa.

### **Etapas 3: Construcción de un prototipo inicial.**

Para realizar esta tarea, el experto y el ingeniero utilizan por lo regular una herramienta comercial. Este primer “**expertito**” debe responder a preguntas específicas en una secuencia apropiada para comprobar los resultados esperados.

### **Fuentes de adquisición del conocimiento.**

Los Sistemas Expertos utilizan algunas técnicas computacionales nuevas, pero la diferencia básica respecto a los sistemas clásicos radica en la forma en que se utiliza el conocimiento para obtener su diseño. El enfoque clásico involucra la instrumentación, recolección de datos, y modelación como se puede observar en la columna izquierda de la figura 3.2.

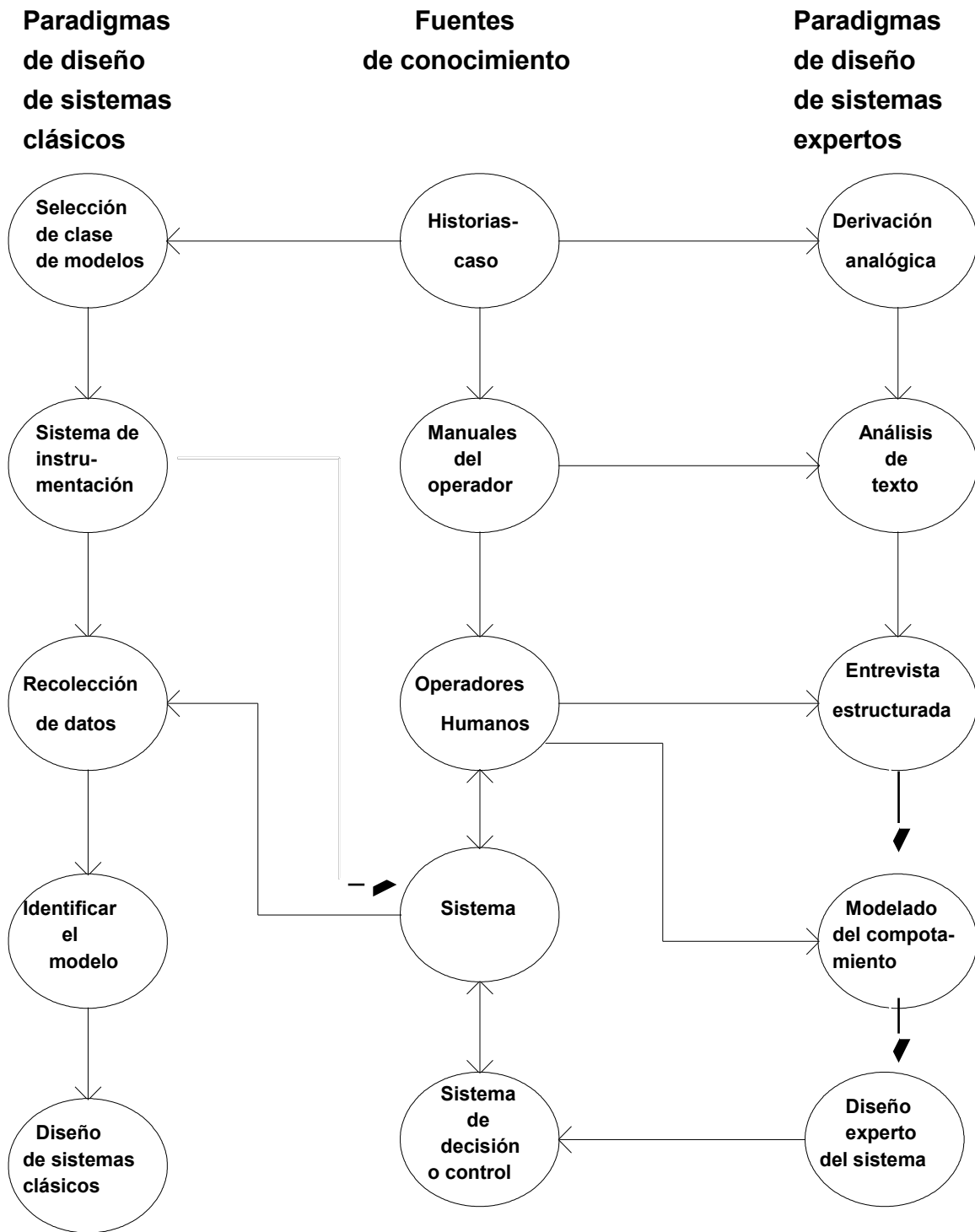


Figura3.2: Paradigmas de diseño de sistemas clásicos y de sistemas expertos.

El paradigma de los sistemas expertos se aplica básicamente cuando no es posible obtener datos de entrada y es necesario buscar otras formas de utilizar las fuentes de conocimiento, como por ejemplo, los comentarios de los operadores y/o el análisis de manuales(ver columna derecha figura 3.2).

## **Técnicas manuales para la adquisición de conocimiento**

En esta sección se presentan las principales herramientas para la adquisición de Conocimiento que se basan en la intervención del Ing. del conocimiento como único vínculo entre el experto y la base de conocimientos del sistema experto a construir.

A pesar de la existencia de herramientas automatizadas (ver siguiente sección) existen fuertes razones para que se sigan realizando investigaciones sobre las técnicas manuales:

- La adquisición manual del conocimiento es el método más utilizado y rutinario que se conoce para construir sistemas expertos.
- Las técnicas manuales constituyen el único medio para complementar la adquisición de conocimiento usando los métodos automatizados.
- Permiten tomar en cuenta las diferencias de experto a experto dentro de la misma aplicación.
- Pueden ser utilizadas en un número considerable de escenarios y permiten transferir expertez en forma más efectiva que las técnicas automatizadas

Para la adquisición del conocimiento, no existe una metodología mejor o que sea universalmente reconocida. Algunos métodos trabajan bien con ciertos dominios y mal con otros. En esta sección se presentan siete técnicas manuales de adquisición del conocimiento y que son:

- técnica de la entrevista,
- análisis de protocolo,
- técnica de múltiples expertos,
- malla de adquisición de conocimiento,
- casos y ejemplos,
- inducción,
- malla de repertorio.

### **1.- Técnica de la entrevista.**

Con esta técnica es necesario identificar a un experto en el dominio que nos interesa y cuestionarlo o entrevistarlo para obtener el conocimiento deseado. Es el método más “natural” para la adquisición del conocimiento, que no sea el formal o escrito en libros o documentos.

Para realizar una entrevista, no solo se requiere de habilidades analíticas sino también interpersonales. Estas relaciones son las que normalmente constituyen un cuello de botella en la adquisición de conocimientos vía entrevistas.

En una entrevista se considera el contenido y la comunicación entre los participantes, esto es, entre los entrevistados (expertos) y el entrevistador. El contenido de una entrevista para la adquisición del conocimiento, involucra el proceso por el cual el experto realiza sus tareas, las razones que están detrás de cada acción y finalmente, los hechos y decisiones que el experto toma para la realización de sus tareas.

En la mayoría de las entrevistas existen algunas discrepancias entre el significado que desea expresar el entrevistado y lo que entiende el entrevistador. La comunicación suele ser más efectiva cuando ambos participantes comparten el mismo lenguaje, educación, puntos de vista y familiaridad con el o los problemas que se quieren solucionar; este hecho prácticamente nunca sucede.

Al iniciar un proyecto en donde el Ing. del conocimiento requiere adquirir conocimiento y realizar entrevistas, es importante establecer un vocabulario común y revisar que, lo que se está entendiendo, es lo que el experto desea expresar. Es posible que durante la entrevista se aprecie que el experto no está consciente de su conocimiento o de cómo lo utiliza. Al explicar a detalle sus conocimientos, el experto puede verse presionado y tal vez cambie los procesos que generalmente sigue. Resulta trivial esta observación, pero puede ser que ocasione serios problemas en los resultados finales, cuando se vea al sistema experto funcionar.

Recordemos que las entrevistas se ven en este documento como una herramienta para la adquisición de conocimientos y están enfocadas a la construcción de sistemas expertos. La siguiente figura presenta los diferentes componentes de una entrevista realizada por un Ing. del conocimiento.

**NIVEL 1: PARTICIPANTES**

Interacción: Experto - Ing. del conocimiento

**NIVEL 2: PREPARACION**

Contenido, tiempo, lugar y material.

**NIVEL 3: TRANSFERENCIA DE INFORMACION**

Comunicación verbal, captura de información.

**NIVEL 4: DIALOGO**

Iniciar el tema, preguntar, escuchar, responder y terminar el tema.

### **1.1- Participantes en una entrevista.**

Para el éxito de una entrevista, es indispensable que cada persona tenga bien definido su rol y muy clara su interacción con cada uno de los participantes.

Una entrevista simple, tiene sólo dos participantes: un entrevistado y un entrevistador. El Experto juega el rol de entrevistado y el Ing. de conocimiento, el rol de entrevistador. Es posible que en algunos proyectos participen varios ingenieros o varios expertos y por lo tanto será necesario que se coordinen las tareas para que los resultados sean los esperados. En este documento, hablaremos en general de entrevistas simples.

La interacción del experto con el Ing. del conocimiento es de vital importancia para la construcción de sistemas expertos. Es a través de esta interacción que se establece una buena relación de trabajo y que se obtienen los conocimientos necesarios para el futuro sistema. Para transmitir sus conocimientos el experto tiene que sentirse siempre a gusto y en confianza.

Cada experto es un individuo diferente, por lo que la mejor manera de interactuar con uno, puede no serlo con otro. Es necesario ser sensitivo y adaptarse al estilo de cada experto, involucrandolo en todas las discusiones y tratandolo de una manera respetuosa y paciente de tal forma, que se sienta parte del equipo de trabajo dentro del proyecto.

La comunicación no verbal con el experto es parte importante en una entrevista. La comunicación efectiva entre individuos también se da por las expresiones faciales, las pausas, la velocidad a la que se habla y los movimientos de las manos y del cuerpo. Es conveniente que el entrevistador, en este caso, el Ing. del conocimiento les ponga atención a estos mensajes y responda adecuadamente. Debe intentar aprender lo que para el experto es normal y buscar patrones de comportamiento que le indiquen que todo está bien. Estos patrones, incluyen el flujo normal de conversación del experto, expresiones comunes y gestos frecuentes. Las variaciones de tales patrones pueden ser indicadores de que la entrevista no va por buen camino.

Es importante discernir las señales que indican que el experto está cansado o inseguro en cuanto a la información que se está generando o bien, preocupado, frustrado o entusiasta con las acciones que se toman. En estos casos es recomendable tomar descansos, finalizar las sesiones más temprano, cambiar de tema, postergar las discusiones de detalle para asegurar que lo que se está captando sea lo óptimo en cuanto a información y procesos dentro del tema a estudiar. Es indispensable detectar



los sentimientos positivos para incentivarlos y los negativos para tratar de corregir las causas

Finalmente, el Ing. del conocimiento debe estar consiente de las diferencias culturales que pueden existir con el experto y ajustarse a ellas. Lo que puede ser normal, rutinario y cómodo para uno, puede ser diferente para el otro. Es responsabilidad del Ing. del conocimiento adaptarse a las normas de formalidad, vestuario y espacio personal.

Cuando en una entrevista intervienen varios ingenieros, es conveniente cuidar la mecánica para no presionar ni cansar al experto. Entre los ingenieros debe haber un ambiente de cordialidad y un trabajo en equipo; cada pregunta, por ejemplo, debiera seguir de manera natural a la precedente como si una sola persona estuviera realizando todas las preguntas. Es recomendable nombrar a un entrevistador líder y si fuese necesario discutir los desacuerdos entre ingenieros cuando el experto no esté presente.

### **1.2- Preparación de una entrevista.**

Para que una entrevista sea lo más exitosa posible, es aconsejable prepararla bajo el siguiente guion: planear el contenido, lugar y tiempo de duración; identificar el material necesario

El primer paso en la planeación de una entrevista es la identificación de los temas a tratar y de los resultados a obtener. Es importante asegurar que con los puntos que serán tratados se recolectará la información requerida o esperada. Durante la entrevista el Ing. del conocimiento debiera evitar introducir opiniones propias e identificar si las suposiciones realizadas son correctas.

Cuando se han identificado las informaciones que se esperan obtener, se elabora una agenda con las actividades más importantes para lograrlo. Esta agenda será una guía flexible para conducir la entrevista y para fijar los tiempos que son necesarios dedicarle a cada actividad.

Para realizar una entrevista es indispensable concertar una cita con el o los expertos y fijar un lugar para realizarla. Un buen consejo, es procurar realizar las entrevistas en el mismo lugar (generalmente en una sala con material audiovisual clásico para presentar temas, o para grabar conversaciones) y siempre que sea posible con un horario fijo (por ejemplo los martes de 16 a 20 horas). Un aspecto importante es el tratar de sacar al experto de su entorno rutinario de trabajo para que se le interrumpa lo menos posible. Si se requiere de material escrito para ser

discutido, es imprescindible tener una copia para cada persona que participa en la entrevista y de ser posible distribuirlo antes de la reunión y que todos los participantes lleguen preparados. El ingeniero del conocimiento antes de la entrevista revisara su agenda y sus notas de las sesiones anteriores de manera que los asuntos importantes relacionados con los temas a discutir esten al día.

### **1.3- Transferencia de la información de una entrevista.**

La transferencia exitosa de información durante una entrevista requiere de una buena comunicación experto - ingeniero del conocimiento y de que este último, almacene la información para su revisión.

En una entrevista el proceso lógico que se sigue está basado en una serie de preguntas y respuestas que se estructuran en base a un plan predefinido. El experto debe conocer las metas del ingeniero y al final saber que esperar en el futuro.

La información que el ingeniero del conocimiento obtiene del experto sera utilizada para diseñar e implantar generalmente un sistema experto. El ingeniero no debe confiar en su memoria y por lo tanto tomar notas, grabar comentarios , escribir en un pizarrón o tomar videos.

Las notas constituyen la forma más versatil y condensada de capturar información durante una entrevista con un experto. No es el método más confiable para obtener los detalles de una discusión.

En un pizarrón, se pueden escribir ideas, diagramas y puntos. Es un método práctico y que hace que el experto sienta confianza al exponer sus conocimientos. Si se requiere guardar la información generalmente será necesario copiarla a mano.

Para complementar las notas de una entrevista, el mejor método es el de grabarla. Así el ingeniero del conocimiento podrá revisar los detalles posteriormente si lo desea.

### **1.4- Dialogo en una entrevista.**

El dialogo en una entrevista consta de los siguientes segmentos: introducción al o a los temas, preguntas, respuestas y un final.

En la introducción se establece la importancia de la entrevista y se explica cual es el proposito general. Se especifica que información se pretende obtener y porque es importante para el futuro sistema experto.

En base a una lista de temas, el ingeniero del conocimiento realiza preguntas con el objetivo de definir que conocimientos se desean adquirir del experto.

Las preguntas deberán ser abiertas cuando se requiera información general y más cerradas cuando se busquen detalles específicos.

Las preguntas se formulan lo más claro posible y para esto se utilizan palabras simples evitando cláusulas complejas, de manera que cada pregunta sea corta y tenga una sola interpretación. Para eliminar las ambigüedades será necesario evitar los terminos : “eso, esto, tal vez, a veces, aquello” y en caso de que exista incertidumbre hacerla explícita.

Las preguntas se deben pronunciar claramente para que el experto pueda interpretarlas adecuadamente. Una pregunta que no obtiene respuesta, es fallida. El ingeniero del conocimiento debe dar el tiempo suficiente para que el experto responda y si no obtiene respuesta debe detectar la falla lo antes posible. Una pregunta puede ser muy general y tener muchas respuestas; en este caso, el experto no puede decidir que respuesta es la correcta y será necesario reformularla con más detalle, sin direccionarla, ni utilizando conocimiento, suposiciones o prejuicios propios que podrían generar otra respuesta. Cuando las preguntas no son claras, el experto tiende a no contestarlas y es necesario reformularlas o aclarar su conexión con el tema a tratar o posponer la entrevista.

Algunos ejemplos de preguntas enfocadas al análisis de sistemas son: ¿Existe una solución al problema planteado?. ¿Quiénes serán los usuarios del sistema?. ¿Qué beneficios se esperan?. ¿Quiénes pueden dar información adicional?. ¿Realmente es ahorrar tiempo lo que queremos lograr con la puesta en marcha de este nuevo sistema?.

Después de realizar una pregunta, es vital escuchar la respuesta para obtener la información buscada.

Los problemas más comunes que no permiten escuchar las respuestas de los expertos son: la falta de atención por parte del ingeniero del conocimiento; la velocidad con la que se plantean las preguntas; lo especializado y lo “denso” de las respuestas del experto que provocan pánico al ingeniero. Es muy importante entender lo que el experto quiere decir, no solo oír y/o registrar lo que dijo. Las respuestas tienen que ser completas y claras reflejando todo lo que se quiere saber, en forma congruente con la información obtenida en entrevistas anteriores.

Para cada pregunta formulada, el ingeniero deberá contestar las respuestas del experto formulando una nueva pregunta si piensa que la respuesta es vaga, incompleta o inexacta.

Cuando el ingeniero quiere confirmar el entendimiento de la respuesta a su pregunta, le repite en sus propias palabras la contestación al experto para que éste último pueda corregir una concepción equivocada.

Si el ingeniero detecta inconsistencias en una respuesta, las aclara preguntando bajo qué condiciones se pueden dar o si la opción es la correcta.

Cuando el ingeniero del conocimiento escucha una palabra que no le es familiar, le solicita al experto una definición de tal palabra para que el lenguaje sea lo más común posible.

Cuando la respuesta del experto sugiere temas adicionales y produce nuevas dudas, no se debe interrumpir el pensamiento del experto, sino anotar las nuevas preguntas y aclararlas posteriormente.

Para terminar un tema el ingeniero del conocimiento, confirma con el experto que toda la información importante ha sido obtenida, resume los puntos claves y señala que está listo para continuar con un nuevo tema. Cuando el ingeniero del conocimiento desea terminar una entrevista resume los puntos tratados y agradece al experto su participación sin antes convocar a una nueva entrevista definiendo temas, hora y lugar.

## **2.- Técnica de análisis de protocolo.**

El análisis de protocolo está basado en la transcripción de una entrevista. Su objetivo es estructurar el proceso de la entrevista y producir resultados más significativos. Este método ha sido utilizado con éxito en aplicaciones de diagnóstico médico y de diseño de componentes mecánicos.

Con este método, se describen los comentarios del experto en el momento en que está tomando las decisiones. El análisis de estos comentarios, requiere de un particionamiento sistemático de la información para producir un modelo estructurado del conocimiento capturado.

El proceso simplificado, para lograr el conocimiento requerido, consiste en recolectar las oraciones de la entrevista, simplificarlas y obtener oraciones de tipo: "si.....entonces"; este modelo inicial se refina, prueba y finalmente se almacena como definitivo cuando el experto lo considera aceptable.

## **3.- Técnica de entrevista a múltiples expertos.**

Cuando el área de estudio para un sistema experto es muy compleja es común utilizar a varios expertos para concentrar los diferentes enfoques en un solo lugar. El grupo de expertos decide cuál es la solución al o a los problemas planteados. Cuando las entrevistas incluyen a un grupo de expertos será conveniente realizarlas por separado con cada especialista y seleccionar la solución más apropiada en base a las pruebas del sistema experto, las cuales deberán producir planteamientos similares para un mismo conjunto de problemas.

Cuando el ingeniero del conocimiento le pregunta a diferentes expertos porque realizan una acción determinada, o porque siguen ciertas reglas o porque tal acción es más importante que otra, las respuestas, por lo general son, que siempre lo han hecho así y

con buenos resultados; otros revisan sus bases teóricas y responden al porque toman esas decisiones.

Las preguntas clásicas al iniciar un proyecto de sistemas experto son:

Para identificar a los expertos:

¿Quiénes son los expertos y en qué área trabajan? ¿Están reconocidos en su comunidad? Como integrar el conocimiento de varios expertos en un sistema?

Para identificar a los usuarios:

¿Estan de acuerdo en cual es el problema a resolver? ¿Cuanto tiempo estan dispuestos a invertir?

#### **4.- Técnica de la malla de adquisición de conocimiento.**

La psicología cognitiva ha mostrado que los expertos difieren de los novatos no solo por la cantidad de conocimiento que poseen sino también en la forma en que lo representan y/o relacionan.

A un experto no se le puede simplemente conectar a un extractor y obtener su conocimiento. Con este método, el ingeniero del conocimiento cuenta con un espacio bidimensional en el cual la dimensión horizontal representa cinco formas de conocimiento experto y la vertical seis tipos de preguntas para realizar entrevistas y obtener conocimiento del experto.

##### ***Dimensión 1: Formas de conocimiento experto.***

a.- **Presentaciones:** Las presentaciones categorizan y dan coherencia a los hechos y a las heurísticas utilizadas por el experto para resolver un problema. Es la manera en la que el experto enfoca las tareas y organiza la información.

b.- **Casos:** los casos o ejemplos constituyen una dimensión importante para que el experto pueda transmitirle al ingeniero del conocimiento sus experiencias. Pueden ser narrativas que describen los eventos que producen y conducen al fenómeno estudiado o bien que expongan los errores y el como solucionarlos.

c.- **Guiones:** Los guiones proporcionan el conocimiento secuencial (procedural) del dominio estudiado. Los elementos básicos de un guion son los roles, objetos y acciones para llevar acabo una actividad exitosamente.

d.- **Metáforas:** Las metáforas encapsulan alternativas que posee el experto para comparar elementos y deducir características similares.

e.- **Reglas de dedo:** Las reglas de dedo son un conjunto de acciones para recolectar datos y/o evaluar condiciones entorno a unas actividades determinadas. Constituyen estrategias concretas y programables.

Con estas cinco formas de conocimiento, el experto puede expresar su saber en su propio lenguaje y el ingeniero del conocimiento puede experimentar con las formas de organizarlo.

***Dimensión 2: Tipos de preguntas.***

Se ha demostrado(Kawaguchi et Al.) que la utilización de diferentes tipos de preguntas optimiza la información que se pretende recibir. A continuación se da una descripción de los tipos de preguntas utilizados por la malla de adquisición de conocimientos:

**1.- Preguntas “Grand Tour”.**

Estas preguntas buscan definir las perspectivas y las metas globales del experto entorno a un objeto del dominio que se esta estudiando. Ejemplo: ¿Describa las actividades que realizan los programadores? No omita ninguna actividad en su descripción, aunque para usted piense que no sea importante.

**2.- Preguntas de categorización.**

El resultado esperado de este tipo de preguntas es una clasificación de los conceptos del experto. Ejemplo: Al hablar de los programadores, usted menciona sus actividades básicas,¿Existen varios tipos de programadores?

**3.- Preguntas de descripción de atributos.**

Se busca una descripción de las características de los objetos a estudiar. Ejemplo: ¿Cuales son las habilidades que hacen que un programador sea mejor que otro?

**4.- Preguntas de definición de interconexiones.**

Se pretende encontrar las relaciones entre objetos. Ejemplo: En la descripción de la metodología de desarrollo de sistemas, usted dijo que el diseño se realiza antes que la programación.¿Porque esto?

**5.- Preguntas para buscar recomendaciones.**

Estas preguntas estan diseñadas para obtener consejos del experto. Ejemplo: Usted comparará la programación con un juego de niños;¿En base a su experiencia en juegos de mesa, que consejo podría darle a un programador novato?

**6.- Preguntas de chequeo cruzado.**

Con estas preguntas se valida la información previamente obtenida. Ejemplos:¿Que tan seguro esta usted de.....?,¿Me podría decir porque los programadores.....?,¿Que sucede si no se definen prioridades.....?

En resumen, el método de la malla de adquisición del conocimiento proporciona una descripción de las relaciones que existen entre las preguntas y las formas del conocimiento que el experto esta manejando. Su valor consiste en contar con una

descripción multi-modo del conocimiento y con una multi-forma para su captura.

### **5.- Técnica de casos o ejemplos.**

Este método estructura la adquisición del conocimiento alrededor de ejemplos que ilustran los problemas y las soluciones que el experto propone. Cada caso, puede servir como base para incrementar el conocimiento que se tiene codificado en un sistema experto. A partir de esta base, es posible realizar una exploración sistemática para identificar cuál de los diferentes caminos sigue el análisis y así obtener los requerimientos de información que produce cada resultado y tener una estructura jerárquica del conocimiento descrito por el o los expertos. Esta estructura constituye una librería de preguntas cuando se cuestiona al sistema sobre el porqué de una decisión o el porqué de una respuesta.

### **6.- Técnica de inducción.**

Esta técnica sirve tanto para la adquisición del conocimiento como para guiar el aprendizaje del sistema experto una vez instrumentado. Por ser un mecanismo de razonamiento, la inducción permite generar reglas y patrones *generales* en base a conjuntos de ejemplos específicos. Los resultados dependen de los algoritmos utilizados y de los ejemplos disponibles.

Este método es muy popular para capturar el conocimiento del experto. En base a los ejemplos que aporta y a los métodos de razonamiento que describe, se pueden obtener programas de cómputo que resultan satisfactorios para resolver los problemas del dominio estudiado. La inducción es un método objetivo, repetible, consistente y fácil de entender como forma de razonar.

El principal problema de este método radica en la selección de los ejemplos y de sus atributos. Las reglas obtenidas deben reflejar tanto los casos raros y difíciles como los comunes y fáciles. El ingeniero del conocimiento debe juzgar la calidad de los ejemplos, cosa muy difícil de realizar hasta no tener los primeros resultados del sistema experto. En base a estos, se mejora el conjunto de ejemplos y se procede a realizar un trabajo iterativo de afinación hasta estar satisfecho con los resultados del sistema experto.

## **7.- Técnica de la malla de repertorio.**

La técnica de la malla de repertorio es un sistema de referencia cruzada entre elementos y constructores para un problema dado. Los elementos son similares a los ejemplos en el método de inducción y los componentes son atributos bipolares o medibles: débil/fuerte, verdadero/falso, ....Con este método no se obtienen reglas pero si se identifican conceptos similares que ilustran y representan el conocimiento del experto en el dominio estudiado.

## **Técnicas automatizadas para la adquisición de conocimiento.**

En los últimos años, los esfuerzos por perfeccionar el proceso automático de la adquisición del conocimiento en los sistemas expertos han sido cada vez mayor y están encaminados a reducir la participación del ingeniero del conocimiento en el proceso de adquisición. Se han desarrollado sistemas inteligentes que permiten la definición directa de la base de conocimientos con el enfoque: experto - sistema de adquisición - base de conocimientos y no de experto - ingeniero del conocimiento - base de conocimientos.

En esta sección se presentan dos tipos de técnicas para la adquisición automática de conocimiento: la de aprendizaje de conceptos y la de tipo procedural.

### **1.- Técnicas para la adquisición del conocimiento de tipo declarativo por aprendizaje de conceptos.**

Mediante esta técnica se busca lograr que el experto tenga interacción directa con la máquina para transferir sus conocimientos.

El esquema de aprendizaje de conceptos involucra la adquisición de descripciones que hace explícita la estructura de la aplicación. En los sistemas para la adquisición de conocimientos generalmente se divide lo que es aprendido por el sistema y lo que es proporcionado por el maestro u experto.

El esquema de aprendizaje dentro de los sistemas expertos obedece a la cantidad de información disponible.

Cuando la información disponible es "poca" entonces se utilizan técnicas estadísticas para el aprendizaje de parámetros o técnicas basadas en ejemplos o en descripciones previas para aprender con similitudes, conservando el proceso dentro de una estructura jerárquica predefinida.



Cuando la información con la que se cuenta es “abundante”, entonces se busca relacionar la información ya asimilada con la nueva, en base a un proceso de análisis intensivo. El sistema no aprende nada nuevo solo articula reglas que ya tiene en su base de conocimientos. Otra forma de operar en el caso de tener información abundante es, proceder a generar ejemplos de manera inductiva o deductiva, comparar los resultados con los ya existentes y aumentar la base de conocimientos.

El conocimiento que el sistema adquiere del experto se realiza por medio de una interacción directa. Los ejemplos se presentan por lotes y se almacenan para poder recuperar los conceptos básicos de la aplicación estudiada. Es importante cuidar el tipo de ejemplos que se le proporcionan al sistema experto para no confundir a los usuarios. El objetivo de un sistema de adquisición de conocimiento puede ser el de generar sus propios ejemplos y el de clasificarlos para reducir su dependencia con la habilidad del maestro.

## **2.- Técnicas para la adquisición del conocimiento de tipo procedural**

Parte importante del conocimiento de un experto es el conocimiento procedural que se conforma de muchos elementos y que van desde las reglas para la manipulación de datos hasta las estrategias abstractas para la resolución de problemas.

Una manera para que los expertos introduzcan directamente el conocimiento procedural es por medio de un lenguaje formal, que generalmente está basado en reglas, acciones (propias del dominio estudiado o de interés general como lo es el sumar por ejemplo), expresiones booleanas y/o instrucciones iterativas. Las reglas que el experto define se introducen directamente por medio de un editor que permite la inserción, el borrado o reemplazo de cada una de estas.

En el siguiente capítulo, se presentan los métodos más comunes para representar el conocimiento y que también son utilizados por los sistemas automatizados de adquisición de conocimientos, los cuales vistos desde la perspectiva de sistemas expertos son un tipo especial de sistemas expertos, los dedicados a la adquisición de conocimientos.

## REFERENCIAS

[FRIEDLAND 1981]

*"Acquisition of Procedural Knowledge from Domain Experts"*

IEEE Principles of Experts Systems.

International Joint Conference on Artificial Intelligence, 1981.

[GAINES 1988]

*"An Overview of Knowledge-Acquisition and Transfer"*.

Gaines B. R.

Knowledge-Based Systems Vol. 1.

Academic Press Ltd., 1988.

[MACDONALD-WITTEN 1989]

*"A framework for Knowledge Acquisition through Techniques of Concept Learning"*.

MacDonald B. A. and Witten I. H.

IEEE Vol. 19 No. 3, 1989.

[SANCHEZ 1993]

*"Adquisición del Conocimiento"*

Sandra V. Sánchez Rivera.

Tesis de Maestría, IIMAS-UNAM

México, D.F., 1993.

[KAHAN 1985]

*"Strategies for Knowledge Adquisition"*.

Kahn G., Nowlan S. and Mcdermott J.

IEEE Trans. Vol. PAMI-7, No. 5, Sept. 1985.

[KAWAGUCHI 1991]

*"Interview Based Knowledge Acquisition Using Dynamic Analysis"*

Kawaguchi A., Motoda h., Mitzoguchi H.R.

IEEE Expert Knowledge Adquisition, Octubre 1991.

## Capítulo 4: ¿Cómo se representa?

La representación del conocimiento es uno de los temas más tratados dentro de la literatura de los sistemas expertos. En este capítulo, se presenta una síntesis de los modelos de representación de conocimientos más comunes que se utilizan actualmente y se comenta la liga existente con los sistemas para el manejo de bases de datos.

Los modelos en el área de bases de datos son instrumentos que permiten describir una realidad en forma organizada y estructurada, captando parte del significado o semántica de los datos.

En su concepción más general,

Un modelo de representación de conocimiento es ...

"Cualquier estructura de trabajo en la cual se puede almacenar y recuperar información acerca del mundo". [ALLEN 1987]

Tradicionalmente, el manejo de datos y los sistemas para el manejo de bases de datos (SMBD) surgieron como una forma de controlar datos dentro de una organización. En su momento la investigación en bases de datos respondió con el desarrollo de varios modelos básicos, a necesidades como:

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

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

1. Modelo Jerárquico, en donde los datos están organizados en una estructura de árbol.
2. Modelo de Red, en donde los datos están interconectados vía ligas que forman gráficas dirigidas.
3. Modelo Relacional, en donde los datos se organizan en tablas.

Con el incremento en la demanda de sistemas orientados al usuario (casuales y experimentados), se desarrollaron nuevas tendencias fuera del ámbito de los modelos tradicionales, entre las que tenemos:

- La incorporación de más semántica en los modelos de bases de datos.
- El desarrollo de mejores medios ambientes para el usuario que incluyan interfaces más amigables y soporten diferentes vistas del contenido y organización de los datos. Para ello los modelos de bases de datos incluyeron el concepto de metaconocimiento, es decir información en la base sobre la base de datos misma.

Ambas tendencias han conducido al desarrollo de SMBD más inteligentes y es aquí donde los investigadores en bases de datos han empezado a reconocer la conexión natural que existe entre las bases de datos y las bases de conocimiento y aprovechar los logros de las investigaciones en Inteligencia Artificial que sobre los modelos de representación de conocimiento se han realizado para enriquecer su área.

Aunque hay una gran variedad de herramientas para la representación de conocimiento todas comparten propiedades comunes. Todas hacen distinción entre proposiciones - aquellas cosas que pueden ser verdaderas o falsas - y términos - aquellas cosas que representan objetos; tanto objetos físicos (mesa, silla, etc.) como objetos ilusorios (ideas, eventos ó tiempo) -.

Partiendo de esto, las representaciones divergen mayormente en los tipos de predicados que soportan, los tipos de comportamiento inferencial que definen y los métodos por los cuales se completa la inferencia. El problema de representar el conocimiento es complejo y constituye aún un campo de investigación abierto.

Para empezar, es preciso reconocer los distintos tipos de conocimiento: hay conocimientos descriptivos que corresponden tanto a hechos del dominio de experiencia (conceptos y relaciones), como a datos del problema concreto a resolver; y hay conocimientos normativos (llamados también

procedimentales), referentes a los procedimientos que se utilizan para deducir otros hechos, y éstos a su vez, pueden ser de tipo táctico (reglas) o de tipo estratégico (que reglas aplicar en cada momento).

Tradicionalmente, las técnicas para representar el conocimiento han sido separadas en dos ramas principales: procedurales y declarativas.

La disputa acerca de los méritos relativos de las representaciones procedurales contra las representaciones declarativas fue una batalla importante en la historia de la Inteligencia Artificial, de la cual se desarrolló mucha de la teoría actual de representación de conocimiento [WINOGRAD 1975].

Los proceduralistas hicieron énfasis en lo directo de la línea de inferencias hechas por sus sistemas (usando heurística para dominios específicos evitando así razonamientos irrelevantes), así como la facilidad de codificación y entendimiento del propio proceso de razonamiento.

Con las representaciones procedurales es fácil:

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

Los declarativistas hicieron énfasis en la flexibilidad y economía de sus esquemas, así como de la totalidad y certeza de sus deducciones y acerca de la facilidad para modificar sus sistemas.

Las principales ventajas de las representaciones declarativas son:

- Cada hecho necesita ser almacenado una sola vez, sin importar el número de formas diferentes en las que puede ser usado.
- Es fácil añadir nuevos hechos al sistema sin cambiar hechos ni procedimientos previos.

A pesar de que en retrospectiva estas posturas parecen haber sido escogidas arbitrariamente entre otros posibles esquemas de representación, la batalla procedural-declarativa tuvo su importancia. Más que resuelta, esta controversia fue disuelta y el resultado fue un mucho mayor respeto por la importancia de la representación de conocimiento en el trabajo actual en Inteligencia Artificial.

Hoy en día es común que al construir un Sistema Experto o Basado en el Conocimiento<sup>2</sup>, se utilicen uno o una combinación de modelos de representación que a continuación se presentan.

Las técnicas de representación de conocimiento más comunes son: [PINSON 1981].

1. Autómatas Finitos
2. Programas por computadora
3. Lógica Simbólica
4. Sistemas basados en reglas de producción
5. Redes Semánticas
6. Marcos
7. Guiones
8. Orientados a Objetos.

Los métodos 1 y 2 son de representación procedural; estos métodos marcaron el inicio de la investigación de modelos para representación de conocimiento y, hoy en día, prácticamente no se utilizan, por lo que únicamente citaremos las referencias mostradas por Pinson. Autómatas Finitos [FISHER 1978] y Programas [NILSSON 1971].

Los métodos 3, 4, y 5 son de representación declarativa, y los métodos 6, 7 y 8 son de representación mixta. Estas técnicas de representación son las más comunes que se considerarán como “clásicas”, por lo que se hará una descripción más amplia de cada una de ellas.

## Lógica simbólica

La lógica como herramienta para el análisis del comportamiento racional tiene una historia milenaria. Los trabajos más importantes para la formalización de la lógica clásica se realizaron durante la segunda mitad del siglo pasado y la primera de éste. Cabe destacar los trabajos de Boole sobre lógica de

---

## 2

**Un Sistema Experto (SE) es un sistema basado en computadora que integra**

**bases de datos, memorias, mecanismos de razonamiento, algoritmos, heurísticas, para adquirir, generar y almacenar conocimientos inicialmente adquiridos a través de varios expertos humanos dentro de un dominio específico llamado “nube”.**

Con un Sistema Experto, se pueden dar recomendaciones y/o tomar acciones en las áreas de análisis, diseño, diagnóstico, planeación y control o dar solución a problemas o aplicar técnicas de enseñanza o en general recomendar, actuar y explicar las acciones que hay que tomar en actividades en las cuales normalmente, se requiere del conocimiento o saber de expertos humanos dentro de una nube específica. [Marcellin, 2010].

proposiciones y Fregge sobre la lógica de predicados [CUENA 1986].

La lógica de proposiciones (o de enunciados) maneja variables proposicionales (a b,c...) así como las relaciones entre ellas. Estas proposiciones compuestas se logran mediante las siguientes conectivas:

Y	denotado como	AND, &
O	denotado como	OR, V
NO	denotado como	NOT, $\neg$
IMPLICA	denotado por	IF-THEN, $\Rightarrow$
EQUIVALENTE	denotado por	IF-AND-ONLY-IF, $\dagger$

Unas reglas de formación de enunciados válidos definen rigurosamente el lenguaje y se puede construir un sistema axiomático mediante la definición de axiomas y reglas de transformación.

Con la lógica de proposiciones se pueden formalizar muchos de los procesos racionales mediante la utilización de un sistema de reglas de inferencia.

El resultado de evaluar una proposición sencilla o compuesta, siempre es verdadero o falso, de aquí se pueden generar lo que todos conocemos como tablas de verdad.

Tabla de Verdad, donde, "F" es falso y "V" verdadero.						
P	Q	P&Q	PVQ	$\neg P$	$P \Rightarrow Q$	$P \dagger Q$
F	F	F	F	V	V	V
F	V	F	V	V	V	F
V	F	F	V	F	F	F
V	V	V	V	F	V	V

El mecanismo de inferencia que se utiliza en la lógica de proposiciones se basa en las siguientes reglas, donde los símbolos 'P', 'Q' y 'R' representan fórmulas.

a) Modus Ponens  
dado P,  $P \Rightarrow Q$ , deriva Q.

b) Modus Tollen  
dado  $\neg Q$ ,  $P \Rightarrow Q$ , deriva  $\neg P$ .

c) Silogismo Hipotético  
dado  $P \Rightarrow Q$ , y  $Q \Rightarrow R$ , deriva  $P \Rightarrow R$

d) Silogismo Disyuntivo

dado  $P \vee Q$ , y  $\neg P$ ,

deriva  $Q$

e) Conjunción

dado  $P$  y  $Q$

deriva  $P \& Q$

f) Adición

dado  $P$  ó  $Q$

deriva  $P \vee Q$

La lógica de predicados es una extensión de la lógica de proposiciones, en ella se introducen los elementos necesarios para tratar con razonamientos donde intervienen propiedades de individuos y relaciones entre ellos.

Un sistema que utiliza el cálculo de predicados diferencia los siguientes elementos:

1. **Términos**.- Los cuales pueden ser: constantes o variables.  
Por ejemplo, "x" podría ser la variable "personas" y "Juan" una constante.
2. **Predicados**.- Que expresan una propiedad de alguna variable o una relación entre dos o más variables.  
Por ejemplo, si definimos el predicado "alto", "alto(x)" sería la representación de "el individuo x es alto".  
Si "MAQ" es el predicado de "es más alto que",  
"MAQ(Juan,Luis)" representa "Juan es más alto que Luis".
3. **Funciones**.- Que permiten representar transformaciones.  
Por ejemplo, sean las funciones "padre(x)" y "madre(x)" y el predicado "casado(x,y)". La expresión  
"casado(padre(x),madre(x))" representa el hecho de que la madre y el padre del individuo x estén casados.

Es importante notar que, mientras que la evaluación de una función da como resultado un elemento del universo, la evaluación de un predicado en lógica binaria es verdadero o falso.

4. **Conectivas**.- Operadores lógicos, como por ejemplo: Y, O, NO.
5. **Cuantificadores**.- De existencia (Existe) y universalidad (Para Todo).

El mecanismo de inferencia que utiliza la lógica de predicados se basa en las reglas definidas en la lógica de proposiciones, además de aquellas que manejan los cuantificadores.

Los cuantificadores, los operadores, las variables, los predicados y las reglas para poner en marcha el proceso de inferencia, constituyen el cálculo de predicados de primer orden. Ciertas expresiones que requieren cuantificar los predicados o utilizarlos



como argumentos, conducen a la lógica de predicados de orden superior.

La idea de tomar a la lógica de predicados de primer orden como un lenguaje de programación condujo a la definición del lenguaje PROLOG, en donde el programador sólo tiene que especificar los hechos y las reglas que definen el dominio del conocimiento sin preocuparse de los procesos de deducción automática [KOWALSKI 1974].

Para mostrar el poderío de este modelo, ilustraremos la definición de "conocimiento proposicional" según Israel Scheffler [SCHEFFLER 1979].

Definición...

<i>X Conoce que Q sí y sólo sí</i>
<i>I) X cree que Q</i>
<i>II) X tiene evidencia adecuada que Q</i>
<i>III) Q es verdadero</i>

En ésta definición, las tres condiciones enunciadas -- condición de creencia, condición de evidencia y condición de verdad-- definen conjuntamente el conocimiento y corresponde al conocimiento fuerte. El conocimiento débil se define con las condiciones de creencia y verdad.

Resumiendo, podemos decir que la resolución de problemas cuya naturaleza es deductiva, su tratamiento es viable mediante la lógica simbólica; sin embargo la mayoría de los problemas reales son de naturaleza inductiva, por ejemplo la interpretación de conocimientos para el diagnóstico de un padecimiento que implica conocimientos inciertos.

Un ejemplo de sistemas que utilizan la representación en base a la lógica de predicados es el sistema SIR [RAPHAEL 1968].

Para información adicional, consultar [NILSSON 1971], [KOWALSKI 1974] y [EMDEN 1976].

## **Sistemas Basados en Reglas de Producción**

Hace más de 40 años que Post (1943) propuso el formalismo de reglas de producción como mecanismo computacional de carácter general. También lo encontramos en los algoritmos de Markov y en la lingüística por Chomsky (1957), que utiliza reglas de reescritura en el reconocimiento sintáctico de frases de lenguaje natural [MARTINEZ 1987].

Una regla de producción es un par ordenado (A,B), que puede representarse en el lenguaje de la lógica de proposiciones como  $A \rightarrow B$ . Los elementos del par reciben distintos nombres: antecedente y consecuente, premisa y conclusión o condición y acción.

La sintaxis o escritura de las reglas es diversa y está en función del proceso de selección y de ejecución de las mismas. Esta sintaxis es reconocida por el intérprete que accede a las reglas, que son en si una cadena de símbolos; algunos sistemas aceptan también el uso de variables.

El intérprete funciona siguiendo una regla de inferencia bien conocida en lógica, la llamada regla de modus ponens: del hecho A y de la regla  $A \rightarrow B$ , se infiere la conclusión B.

Desde el punto de vista funcional el proceso de inferencia opera en dos fases: una de reconocimiento y otra de acción. La primera se subdivide a su vez en: seleccionar las reglas pertinentes y en resolver el conflicto de resolución en caso de que exista más de una regla aplicable.

Algunos de los criterios que se utilizan para determinar cual acción ejecutar cuando existe un conflicto de resolución son:

- Establecer orden en los datos,
- Clasificar las reglas por prioridad de ejecución,
- Ejecutar la regla más recientemente instanciada,
- Aplicar metareglas.

En la segunda fase se ejecutan las acciones establecidas por las reglas durante el proceso de inferencia. La selección de las reglas depende de la situación en curso de tratamiento. Si se consideran los hechos establecidos y se verifican con las reglas, se dice que el razonamiento del sistema es hacia adelante, ya que de cumplirse el miembro izquierdo de la regla, se ejecuta la parte derecha de ésta. Por el contrario, si se consideran las metas posibles a alcanzar, es decir el miembro derecho de la regla y se verifican sólo las reglas que concluyen esas metas, se trata de razonamiento hacia atrás.

Una de las características sobresalientes de los sistemas basados en reglas de producción es su potencialidad de aprendizaje; es decir que a partir de su base de conocimientos inicial, el sistema es capaz de generar o simplificar las reglas de

inferencia que rigen su comportamiento, pero no en forma automática.

Este esquema es la base de MYCIN [SHORTLIFFE 1976] - sistema experto desarrollado en Stanford en 1976 para el diagnóstico y tratamiento de enfermedades infecciosas en la sangre -, que, desde el punto de vista de lógica formal, utiliza lógica de proposiciones con algunas extensiones que lo aproximan a la lógica de predicados (existencia de predicados predefinidos y ciertas posibilidades de cuantificar) y a la lógica multivaluada (factores de certidumbre)..

Un ejemplo de sistemas que utiliza el modelo de reglas de producción es el sistema EURISKO [LENAT 1983].

En suma, los sistemas basados en reglas de producción permiten representar los conocimientos en forma modular y uniforme; son útiles en los casos donde se detecta y trata con una gran cantidad de estados independientes; en sistemas cuyos objetivos son amplios y cuyas acciones son de corto alcance y de toma de decisiones súbita. La mayoría de los sistemas expertos comerciales hoy en día utilizan esta herramienta para la representación de los conocimientos.

Para ampliar detalles sobre la filosofía y la teoría de los sistemas basados en reglas de producción, consultar [POST 1943], [DAVIS 1977] y [SUWA 1984].

## Redes Semánticas

Este modelo de representación de conocimiento fue introducido por Ross Quillian en 1968, originalmente fue desarrollado como un modelo psicológico de la memoria asociativa humana conocido como MEMORIA SEMANTICA [QUILLIAN 1968].

Esta representación se compone de un conjunto de nodos relacionados entre si por medio de ligas o arcos; cada nodo corresponde a: un atributo, un estado, una entidad o un evento. Las ligas o arcos que van de un nodo a otro representan relaciones entre nodos.

Consideremos por ejemplo:

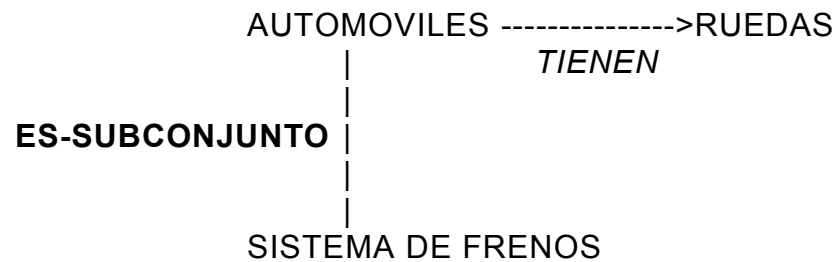
AUTOMOVILES ----->RUEDAS  
*TIENEN*

donde AUTOMOVILES Y RUEDAS son nodos representando conjuntos ó conceptos y *TIENEN* es el nombre del arco especificando su relación. Entre las posibles interpretaciones de

esta red, está la siguiente oración: ***Todos los automóviles tienen ruedas.***

La habilidad de apuntar directo a los hechos relevantes es particularmente notable en los arcos ES-UN y ES-SUBCONJUNTO, las cuales establecen una propiedad inherente de jerarquía en la red.

Por ejemplo:



De aquí, se puede interpretar que como el SISTEMA DE FRENOS **es un subconjunto** de los AUTOMOVILES y dado que los AUTOMOVILES *tienen* RUEDAS, el SISTEMA DE FRENOS también tiene RUEDAS. La interpretación de las estructuras de la red depende solamente del programa que los manipula; es decir no hay convención alguna del significado. De ahí que las inferencias que se derivan de la manipulación de la red no son necesariamente válidas.

Una característica clave de las redes semánticas es que las asociaciones importantes se pueden hacer explícitamente. Hechos relevantes acerca de un objeto pueden ser inferidos de los nodos a los cuales están directamente ligados, sin necesidad de buscar en grandes bases de datos.

Podría considerarse la teoría y el modelo de redes semánticas como una teoría computacional del entendimiento verbal superficial en los humanos. Si consideramos los nodos como estructuras que usamos para conceptos verbales, las relaciones semánticas representarían el concepto lingüístico del pensamiento y juntos describen eventos en lenguaje natural. [NORMAN 1971].

Un ejemplo de sistema que utiliza este tipo de representación es PROSPECTOR [DUDA 1979] - sistema experto en el tema de Exploración Mineral - .

Para información adicional sobre formas de uso de las redes semánticas, consultar [FINDLER 1979] y [SCHUBERT 1976].

## Marcos (Frames)

Este modelo de representación de conocimiento fue propuesto en 1975 por Minsky [MINSKY 1975]. En este modelo se parte de que existe una gran evidencia de que el ser humano no analiza nuevas situaciones partiendo de la nada, ni tampoco construye nuevas estructuras de conocimiento para descubrirlas. En su lugar, parece que tenemos en la memoria una gran colección de estructuras que representan nuestras experiencias previas con objetos, lugares y situaciones. Para analizar una nueva experiencia evocamos las estructuras apropiadas que tenemos almacenadas y las llenamos con detalles del evento actual.

Un marco es una estructura de trabajo general que describe objetos, la cual puede ser adaptada a una situación específica cambiando ciertos detalles. Consiste de una colección de 'slots' o casillas que describen aspectos de los objetos. Asociado a cada casilla puede haber un conjunto de condiciones que deben ser cumplidas por quien quiera llenarlas.

Las características generales de este modelo de representación de conocimiento son:

1. Cada objeto tiene asociado un conjunto de atributos que lo caracterizan.
2. Cada atributo tiene asociado un valor, el cual a su vez puede ser otro objeto.
3. Los atributos-valor corresponden a:
  - El nombre de un procedimiento específico; ejecutable automáticamente o mediante requisición.
  - Apuntadores a otro objeto.
  - Un valor calculado durante el proceso de ejecución.
  - Un valor asignado por omisión.
  - Una constante.

De esta forma la representación mediante objetos combina el aspecto procedural y declarativo, lo cual constituye una aportación más a las ya efectuadas por las reglas semánticas.

Por supuesto que antes de que un marco pueda ser utilizado, debe verificarse que sea aplicable a la situación actual. Minsky propone que alguna parte de la evidencia sea usada para hacer una selección inicial del marco candidato; el marco se instancia creando una estructura específica que describa la situación actual. Este marco deberá contener algunas casillas para las cuales algunos valores serán asignados.

El estado de un objeto definido por el sistema es:

**Activo** En el caso de que se encuentre presente en la lista de hipótesis en curso de tratamiento, ya sea para confirmarlo o eliminarlo.

**Semiactivo** En el caso de que las hipótesis sean sugeridas vía diversas alternativas, pero sin suficiente 'peso' para ser consideradas todavía.

**Inactivos** Cuando el objeto se ha eliminado o jamás será instanciado para ser considerado.

La estructura de control varía según el caso específico, sin embargo algunos criterios seguidos son:

- Ordenar datos.
- Poner en marcha ciertas hipótesis asociadas a situaciones precisas.
- Ordenar las hipótesis.
- Verificar la hipótesis más relevante.
- Instanciar la hipótesis más recientemente ejecutada.

En resumen, los marcos como las redes semánticas, son estructuras de propósito general en los cuales es posible representar conjuntos particulares de conocimiento dentro de un dominio específico. Los detalles de la operación de un sistema basado en marcos contendrán, así como el tipo de razonamiento que el sistema usará durante su actuación.

Un ejemplo de sistemas que utilizan este modelo de representación es el sistema AM [LENAT 1976] y el sistema GUS [BOBROW 1977],

Para información adicional, consultar [MINSKY 1975], [GOLDSTEIN 1979] y [WINOGRD 1975].

## **Orientados a Objetos**

Los objetos, son similares a los marcos. Ambos sirven para agrupar conocimiento asociado, soportan la **herencia**, la abstracción y el concepto de procedimientos agregados. La diferencia radica en lo siguiente:

1. En los marcos, a los programas y a los datos se les trata como dos entidades relacionadas separadas. En cambio en los objetos se crea una fuerte unidad entre los procedimientos (*métodos*) y los datos.

2.

Los *demonios* de los marcos sirven sólo para computar valores para las diversas ranuras o para mantener la integridad de la base de conocimientos cada vez que una acción de algún marco, afecta a otro. En cambio, los *métodos* utilizados por los objetos son más universales ya que proporcionan cualquier tipo general de computo y además soportan encapsulamiento y polimorfismo.

Un objeto es definido como una colección de información representando una entidad del mundo real y de una descripción de cómo debe ser manipulada esta información vía los *métodos*. Un objeto tiene un nombre, una caracterización de clase, varios atributos distintivos y un conjunto de operaciones. La relación entre los objetos viene definida por los *mensajes*. Cuando un objeto recibe un *mensaje* válido, responde con una acción apropiada, retornando un resultado.

## Guiones (Scripts)

Este modelo de representación de conocimiento fue introducido en 1975 por Schank Abelson como una propuesta de especialización de la teoría de marcos. [SCHANK 1977].

Un guión es una estructura que describe una secuencia estereotípica de eventos dentro de un contexto en particular y está formado por un conjunto de casillas (slots). Asociada a cada casilla puede haber información acerca del tipo de valores que puede contener, así como un valor que será usado en caso de que ninguna información este disponible.

Como podemos notar, esta descripción es muy similar a la de un marco dada en la sección anterior y hasta este nivel de detalle son idénticas. Debido al papel tan especializado que tiene el guión es posible hacer observaciones más precisas acerca de su estructura.

Los componentes más importantes de un guión son:  
(ver figura 4.1)

**Condiciones de Entrada** Estas condiciones en general deben ser satisfechas antes de que los eventos descritos en el guión puedan ocurrir.

**Resultados** Son condiciones que generalmente serán ciertas después de que los eventos descritos en el guión hayan ocurrido.

**Propiedades** Son casillas que representan a los objetos involucrados en los eventos del guión. La presencia de estos objetos puede ser inferida aún cuando no sean mencionados explícitamente.

**Roles** Son casillas representando a las personas involucradas en los eventos descritos en el guión. Al igual que en las propiedades, la presencia de estas personas puede ser inferida sin necesidad de que sean mencionadas explícitamente.

**Rutas** Dentro de un guión pueden existir varias secuencias de eventos que comparten varias escenas, mientras que las restantes pueden ser opcionales o excluyentes. A estas secuencias de escenas se les llaman rutas.

**Escenas** Una escena es una secuencia determinada de eventos que ocurren. Los eventos están representados en forma de dependencias conceptuales [RIESBECK 1975].

A pesar de que los guiones son estructuras menos generales que los marcos y éstas no se ajustan a la representación de cualquier tipo de conocimiento son muy útiles porque, en el mundo real si se ajustan los patrones a las secuencias de los eventos. Estos patrones surgen debido a las relaciones causales entre los eventos y estos a su vez, descritos en un guión forman una gigantesca cadena causal.

El inicio de la cadena es el conjunto de condiciones de entrada que permiten que los primeros eventos de los guiones ocurran y el fin de la cadena es el conjunto de resultados que pueden a su vez, permitir que otros eventos o secuencias de eventos (otros guiones) ocurran.

Un ejemplo de sistemas que emplean el modelo de guiones y que además utilizan la teoría de dependencias conceptuales es el sistema ESPIA [MACHADO 1985].

Para mayor información sobre guiones, consultar [SCHANK 1977] y [SCHANK 1981].



<b>GUION</b>	<b>: RESTAURANTE</b>	<b>Escena 1 : LLEGADA</b>
<b>RUTA</b>	<b>: CAFETERIA</b>	
<b>PROPIEDADES</b>	<b>: mesas menú C=comida cuenta dinero</b>	<b>H PTRANS H hacia restaurante H ATTEND ojos a las mesas H MBUILD donde sentarse H PTRANS H hacia la mesa H MOVE H sentado</b>
<b>ROLES</b>	<b>: H=cliente M=mesera CO=cocinero CA=cajero D=dueño</b>	<b>Escena 2 : ORDENAR</b>
<b>CONDICIONES DE ENTRADA :</b>		<b>(menú en la mesa) H PTRANS menu a H (go to *e2.1) (la mesera trae el menú) M PTRANS M hacia la mesa M ATRANS menu a H *e2.1 H MTRANS lista-comida a CP(H) *e2.2 H MBUILD escoge C H MTRANS señal a M M PTRANS M hacia la mesa H MTRANS orden a M M PTRANS M a CO M MTRANS (ATRANS C) a CO (CO MTRANS 'no C' a M) M PTRANS M a H M MTRANS 'no C' a H OR (go to *e2.2),(go to 'e4.2) CO DO script-preparar-comida</b>
<b>RESULTADOS :</b>		
<b>H tiene hambre H tiene dinero H tiene menos dinero D tiene más dinero H no tiene hambre H está satisfecho (opcional)</b>		<b>Escena 3 : COMER</b>
		<b>*e.3 CO ATRANS C a M M ATRAHS C a H H INGEST C OR (go to *e2.2),(go to *e4.1)</b>
		<b>Escena 4: FINAL</b>
		<b>*e4.1 M MOVE (escribir cuenta) M PTRANS M a H M ATRANS cuenta a H H ATRANS propina a M H PTRANS H a CA H ATRANS dinero a CA *e4.2 H PTRANS H afuera del restaurante</b>

Figura 4-1. Componentes de un Guión.

## Otras Representaciones

La mayoría de las investigaciones en Inteligencia Artificial se han concentrado en la adquisición del conocimiento de tal forma que pueda ser adquirido, almacenado y utilizado por las computadoras. Sin embargo, existen algoritmos que permiten obtener conocimientos directamente de un conjunto de datos.

Estos sistemas expertos no convencionales se basan generalmente en el reconocimiento de patrones en lugar de mecanismos de razonamiento.

## Algoritmo 'ID3'

El algoritmo ID3 originalmente desarrollado por J. Ross Quinlan [QUINLAN 1983] es el método más comúnmente usado en sistemas expertos comerciales que utilizan métodos de inducción para generar reglas.

La complejidad de los problemas del mundo real frecuentemente dificultan el diseño de un conjunto detallado de reglas. (Ver Sistemas Basados en Reglas de Producción). En algunas áreas la cantidad de información que se requiere para dar una solución es prohibitivamente grande, en otras el conocimiento no está lo suficientemente definido como para ponerlo en reglas.

El algoritmo funciona de la siguiente forma: la información a clasificar se organiza en una tabla, a cada renglón se le llama "ejemplo" y a cada columna se le llama "atributo". A la primera columna se le llama "atributo de clase" y la meta es determinar la relación existente entre el "atributo de clase" y los valores de otros atributos.

El primer paso consiste en seleccionar uno de los atributos para que sea el punto de inicio o nodo raíz del árbol. una vez seleccionado este atributo, se particiona el conjunto de ejemplos (renglones de la tabla) en tablas más pequeñas cada una conteniendo ejemplos con el mismo valor del atributo seleccionado. Si las instancias del "atributo de clase" no son las mismas para cada una de estas tablas más pequeñas se selecciona un segundo atributo que viene a ser otro nodo del árbol y se repite esta operación hasta que "atributo de clase" esté clasificado.

En las figuras 4.2, 4.3 y 4.4, se muestra un ejemplo de como trabaja un árbol de clasificación.

UTILIDAD	ANTIGÜEDAD	COMPETENCIA	TIPO
Baja	Vieja	No	Software
Baja	Media	Si	Software
Alta	Media	No	Hardware
Baja	Vieja	No	Hardware
Alta	Nueva	No	Hardware
Alta	Nueva	No	Software
Alta	Media	No	Software
Alta	Nueva	Si	Software
Baja	Media	Si	Hardware
Baja	Vieja	Si	Software

Figura 4.2. Arbol de clasificación, algoritmo ID3.

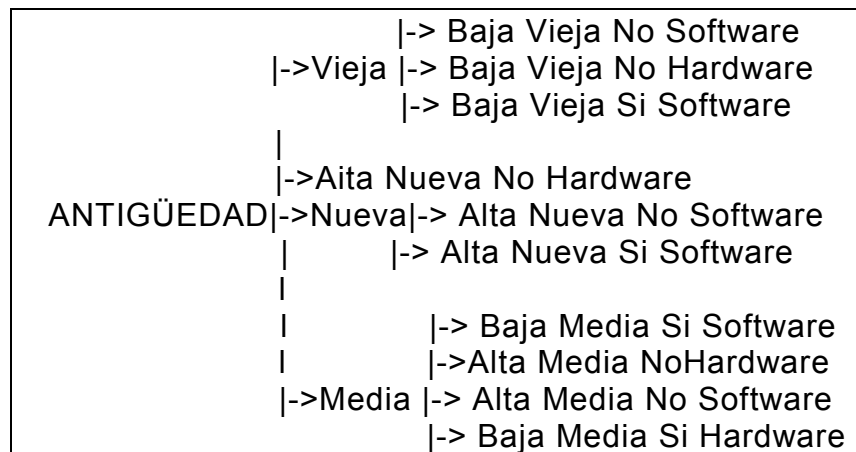


Figura 4.3. Algoritmo ID3 particionado en el atributo ANTIGÜEDAD

A partir de este árbol, se pueden generar un conjunto de reglas if-then siguiendo cada ruta desde el nodo raíz hasta los nodos terminales. cada regla es una serie de condiciones que consiste de parejas atributo-valor seguidas por una conclusión que contiene la clase y el correspondiente valor de la clase.

-> Baja Vieja No Software		
	-> Vieja-	-> Baja Vieja No Hardware
		-> Baja Vieja Si Software
		-> Alta Nueva No Hardware
ANTIGÜEDAD	->Nueva	-> Alta Nueva No Software
		-> Alta Nueva Si Software
		-> No--> Alta Media No Hardware
		--> Alta Media No Software
	->Media->COMPETENCIA	
	-> Si---	Baja Media Si Hardware
		--->Baja Media Si Software

Fig.4.3. Algoritmo ID3 después de la segunda partición en el atributo COMPETENCIA.

Siguiendo las figuras 4.2, 4.3 y 4.4 sus reglas serían:

If ANTIGÜEDAD es Vieja  
then UTILIDAD es baja

If ANTIGÜEDAD es nueva  
then UTILIDAD es alta

If ANTIGÜEDAD es media  
and COMPETENCIA es no  
then UTILIDAD es alta

If ANTIGÜEDAD es media  
and COMPETENCIA es si  
then UTILIDAD es baja

Figura 4.5. Reglas producidas del árbol de clasificación.

Para mayor información sobre este algoritmo, consultar [QUINLAN 1983] y [THOMPSON 1986].

## Clasificador Holland

La literatura de sistemas expertos muestra que la mayoría de los programas existentes funcionan como clasificadores. Un conjunto de estímulos del medio ambiente (características, síntomas, etc.) son clasificados dentro de una o más categorías. Por ejemplo, los diagnósticos médicos se desarrollan asignando a un conjunto de síntomas una enfermedad específica, es decir se clasifican por el tipo de enfermedad. Este algoritmo de reconocimiento de patrones fue propuesto en la Universidad de Michigan por John Holland [HOLLAND 1986].

El algoritmo funciona de la siguiente forma: La información acerca de un conjunto de condiciones se codifica en una cadena de bits, en donde, cada bit representa una característica específica que, generalmente es de naturaleza binaria (existe o no existe). Esta cadena de bits la cual puede ser de 10 ó 12 bits para problemas simples o de varias cientos de bits para problemas complejos, se le conoce como "mensaje". Un patrón de características en particular se le conoce como un "clasificador".

Para desarrollar una tarea como encontrar a una persona específica en un evento deportivo, se deberá crear un "clasificador" que especifique entre aquellos posibles, los atributos que el individuo posea. De igual forma, se deberá crear un "mensaje" por cada individuo en el evento deportivo especificando los atributos que cada uno posee. Aquel "mensaje" que sea lo más parecido al "clasificador" será el individuo en cuestión.

Aunque conceptualmente es simple, existen algunas características a considerar:

- Se debe especificar el conjunto global de atributos. Esta definición generalmente requiere un conocimiento de experto.
- La frase "muy similar" frecuentemente representa un problema. Existe la estrategia de clasificar los bits en tres tipos: Tipo 'A', aquellos que representan una características esencial o crítica; Tipo 'B', todas aquellas características que son muy recomendables más no críticas y Tipo 'C', aquellas características que sirven como diagnóstico cuando están presentes y no tienen importancia si están ausentes. Un "clasificador es muy similar" a un "mensaje" cuando posee todas las características de Tipo 'A' y el mayor número de características Tipo 'B' y 'C'.

Un ejemplo de sistemas que utilizan este algoritmo es el sistema COPDAB [SCHRODT 1986].

Para mayor información sobre este algoritmo, consultar [HOLLAND 1986] y [FREY 1986].

## REFERENCIAS

[AIKINS 1983]

*"Prototypical Knowledge for Expert Systems"*

Janice S. Aikins

Artificial Intelligence 20, North-Holland, 1983.

[ALLEN 1987]

*"Natural Language Understanding"*

James Allen

The Benjamin/Cummings Publishing Company, Inc., 1987.

[BARR 1981]

*"The Handbook of Artificial Intelligence"*

A. Barr, E. Feigenbaum

William Kaufmann, Los Altos, CA, 1981.

[BOBROW 1977]

*"GUS: A frame-driven dialog system"*

D.G. Bobrow, R.M. Kaplan, D.A. Norman, H. Thompson and T. Winograd

Artificial Intelligence, Vol. 8 no 1., Feb 1977.

[CUENA 1986]

*"Inteligencia Artificial: Sistemas Expertos"*

J. Cuena, G. Fernández, R. López y M. Verdejo

Alianza Editorial, Madrid, 1986

[DAVIS 1977]

*"Production rules as a representation for a knowledge-based consultation program"*

R. Davis, B. Buchanan and E. Shortffe

Artificial Intelligence, Vol. 8 no 1., Feb 1977.

[DUDA 1979]

*"Model Desing in the Prospector Consultant System for Mineral Exploration"*

R. Duda, J.. Gaschnig, P. Hart

Expert System for the Microelectronic Age, D. Michie Edinburgh University Press, 1979.

[EMDEN 1976]

*"The Semantics of Predicate Logic as a Programming Language"*

M.H. Emden and R.A. Kowalski

ACM 23, no. 4., 1976

[FINDLER 1979]

*"Associative Networks: Representation and use of Knowledge by Computers"*

Findler, N.V.

Academic Press, New York, 1979.

[FISHER 1970]

*"Computer structures for programming languages"*

D.A. Fisher

Computer Science Dept., PhD thesis, Pittsburg Carnegie Mellon Univ., 1970.

[FREY 1986]

*"A bit-mapped classifier"*

Peter W. Frey

Byte, Nov. 1986.

[GOLDSTEIN 1979]

*"Using frames in scheduling"*

I.P. Goldstein and B. Roberts

Artificial Intelligence: An MIT Prespective, Vol. 1, 1979.

[HOLLAND 1986]

*"Escaping Brittleness: The Possibilities of Genera Purpouse Learning Algorithms Applied to Parallel Rule-Based Systems"*

Holland, J.

Machine Learning II, Los Altos Ca., Morgan Kaufmann Publ., 1986.

[KOWALSKI 1974]

*"Predicate logic as a programming language"*

Kowalski, R.A.

North Holland Publisching Co., Amsterdam, 1974.

[LENAT 1976]

*"An artificial intelligence approach to discovery in mathematics as heuristic search"*

Lenat D.B.

SAIL AIM-286 A.I. Lab. Stanford University, 1976.

[LENAT 1983]

*"EURISKO: A program that learns new heuristics and domain concepts"*

Lenat D.B.

Artificial Intelligence 21, 1983.

[LIEBOWITZ 1989]

*"Structuring Expert Systems"*

Jay Liebowitz, Daniel A. De Salvo

Yourdon Press, Prentice Hall, Inc., 1989.

[MACHADO 1985]

*"ESPIA: Entendimiento Simbólico Por medio de la Inteligencia Artificial"*

Machado A., García H. y Barrera E.

Tesis de Licenciatura, Universidad de las Americas, Puebla 1985.

[MARCELLIN 2008]

*Notas del Curso: "Construcción de Sistemas Expertos",*

Marcellin Jacques Sergio

Posgrado en Ciencia e Ingeniería de la Computación, UNAM, 2008.

[MARTINEZ 1987]

*"Representación del Conocimiento y su Mecanismo de Inferencia"*

Dra. Ana Ma. Martinez Enríquez. Primer Curso Internacional de Sistemas Expertos, Nov. 1987.

[MINSKY 1975]

*"A framework for representing knowledge"*

M. Minsky

The Psychology of Computer Vision, McGraw-Hill, 1975.

[NILSSON 1971]

*"Problem solving methods in Artificial Intelligence"*

N.J. Nilsson

McGraw-Hill, 1971.

[NORMAN 1971]

*"A System for Perception and Memory"*

Norman, D.A.

Models of Human Memory, Academic Press, New York, 1971.

[PINSON 1981]

*"Représentation des Connaissances dans les Systèmes Experts"*

Suzanne Pinson

R.A.I.R.O Informatique/Computer Science, Vol. 15 no 4., 1981.

[POST 1943]

*"Formal reductions of the general combinatorial decision problem"*

Post, E.

American Journal of Mathematics 65, 1943.



[QUINLAN 1983]  
*"Learning Efficient Classification Procedures and their Application to Chess and Games"*  
Quinlan, J.. Ross  
In Machine Learning An Artificial intelligence Approach, Tioga Publishing co., 1983.

[QUILLIAN 1968]  
*"Semantic Memory"*  
Quillian M.R.  
Semantic information Processing, Cambridge Ma., 1968.

[RAPHAEL 1968]  
*"SIR: A computer program for semantic information"*  
Raphael, B.  
Semantic information Processing, Cambridge Ma., 1968.

[RIESBECK 1975]  
*"Conceptual Analysis"*  
C. Riesbeck  
Conceptual Information Processing, North Holland Publishing, Amsterdam, 1975.

[SCHANK 1977]  
*"Scripts, Plans, Goal and Understanding"*  
Schank R.C. y Abelson R.P.  
Laurence Erlbaum Assoc. Hillsdale, New Jersey, 1977.

[SCHANK 1981]  
*"Inside Computer Understanding"*  
Schank R.C. y Riesbeck C.K.  
Laurence Erlbaum Assoc. Hillsdale, New Jersey, 1981.

[SCHEFFLER 1979]  
*"Las Condiciones del Conocimiento. Una introducción a la Epistemología y a la Educación"*  
Israel Scheffler  
Instituto de Investigaciones Filosóficas, UNAM No.29, 1979.

[SCHRODT 1986]  
*"Predicting International Events"*  
Philip A. Schrotd  
Byte, Nov 1986.

[SCHUBERT 1977]  
*"Extendingg the expressive power of Semantic Networks"*  
Schubert, L.  
Artificial Intelligence, Vol. 7 no. 2, 1976.

[SHORTLIFFE 1976]

*"Computer Based Medical Consultations, MYCIN"*

E. Shortiffe

Elsevier Computer Sc. Library N.J. USA, 1976.

[SUWA 1984]

*"Completeness and Consistency in a Rule-Based System"*

M. Suwa, A.C. Scott and E.H. Shortiffe

Rule-Based Expert Systems, Addison-Wesley Publishing Co., 1984.

[THOMPSON 1986]

*"Finding rules in data"*

Beverly Thompson and William Thompson

Byte, Nov. 1986.

[WINOGRAD 1975]

*"Frame Representation and Declarative-Procedural Controversy"*

Winograd T.

Representation and Understanding, Academic Press, New York, 1975.