



UNIVERSIDAD DE VALENCIA

ESCUELA UNIVERSITARIA DE ESTUDIOS
EMPRESARIALES

DEPARTAMENTO DE DIRECCIÓN DE EMPRESAS

INFORMATICA APLICADA A LA
GESTIÓN DE EMPRESAS

Curso 1998-99

SISTEMAS EXPERTOS

Salvador Climent Serrano

SISTEMAS EXPERTOS

INTRODUCCIÓN A LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL

La *Inteligencia Artificial* hay que enmarcarla en un contexto evolutivo ya que está a la vanguardia de las investigaciones en informática y continuamente se abren nuevas vías de investigación. En consecuencia no existe una única definición de Inteligencia Artificial sino que ésta depende de la perspectiva desde la cual se intente realizar:

1. *Desde la perspectiva de Inteligencia* (Brown, 1997: 1): inteligencia artificial trata de construir máquinas inteligentes que actúen como nosotros esperamos que la gente actúe.

2. *Desde la perspectiva de la investigación* (Brown, 1997:2): la inteligencia artificial estudia como lograr que las máquinas realicen tareas que, por el momento, son realizadas mejor por los seres humanos.

En resumen podríamos decir que la Inteligencia Artificial está formada por una serie de técnicas y metodologías encaminadas a resolver problemas no estructurados que necesitan del conocimiento para su resolución ya que carecen de una respuesta inmediata e incluso presentan más de una solución como consecuencia de la existencia de incertidumbre o ambigüedad en los resultados finales o parciales. Para la resolución de dichos problemas, la Inteligencia Artificial recurre a los algoritmos o a las reglas heurísticas.

La Inteligencia Artificial es una rama de la Informática, surgida alrededor de los años cincuenta, que persigue a la vez dos objetivos básicos:

1.- Estudiar el comportamiento inteligente de los seres humanos, incluyendo tanto el aspecto cognoscitivo como el perceptual, con el fin de simularlo en un ordenador.

2.- Hacer máquinas inteligentes y programas capaces de imitar el comportamiento humano inteligente, es decir que puedan realizar las operaciones humanas de ver, oír, hablar, razonar, juzgar, comprender, aprender de la experiencia y comunicarse como lo hacen las personas humanas.

La Inteligencia artificial es multidisciplinar y se apoya en los conceptos y técnicas de otras disciplinas, tales como: la informática, la ingeniería, la sociología, la ciencia del comportamiento, la psicología cognoscitiva, etc.

La inteligencia artificial es una disciplina en constante evolución. Hasta la fecha su campo de actuación se ha centrado principalmente en las siguientes ramas:

proceso de lenguaje natural.

Reconocimiento de patrones (comprensión y síntesis del habla, visión artificial, proceso de imágenes).

Robótica.

Sistemas basados en el conocimiento y sistemas expertos.

Redes neuronales.

Otras áreas: aprendizaje, programación automática, juegos inteligentes, demostración de teoremas, etc.

De todos estos dominios, la robótica y los sistemas expertos y en un futuro no muy lejano las redes neuronales, son las aplicaciones más interesantes desde un punto de vista empresarial.

EVOLUCIÓN DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL

La primera vez que se utilizó el término Inteligencia Artificial fue en 1956, en una conferencia sobre informática teórica, titulada *The Dartmouth Summer Research Project on Artificial Intelligence* (Copeland, 1996: 28).

A partir de dicha conferencia se establecieron los primeros laboratorios de inteligencia artificial en diversas universidades siendo los más destacados los creados por: John McCarthy y Marvin Minsky, quienes crearon el Massachusetts Institute of Technology (MIT), con el fin de trabajar en la construcción de ordenadores inteligentes que imitaran el comportamiento humano y Allen Newell y Herber Simon, en la Universidad de Carnegie Mellon, que se centraron en la búsqueda de un solucionador general de problemas “General Problem Solver” (GPS).

A partir de la celebración en 1981 de la VII Conferencia Internacional de Inteligencia Artificial en la Universidad de British Columbia, Vancouver (Canadá), y con la llegada de las técnicas de miniaturización electrónica, que dieron lugar a una

generación de ordenadores más rápidos y capaces de simular el comportamiento humano, se crearon grupos de trabajo para obtener resultados prácticos de programas de Inteligencia Artificial que pudiesen aplicarse socialmente permitiendo su utilización a los diferentes tipos de ordenadores

En España, la investigación en inteligencia artificial, se encuentra en una situación similar a la de otros países europeos, pues las investigaciones, tanto teóricas como prácticas, se están llevando a cabo por departamentos y centros de investigación universitarios. Aunque cada vez es mayor el número de empresas que a través de sus centros de I+D llevan a cabo este tipo de investigaciones o colaboran con las universidades. El Instituto de Ingeniería del Conocimiento (ICC) es un claro ejemplo de la colaboración de las universidades y las empresas pues se trata de un instituto creado en 1989 por el Banco Central Hispanoamericano, BANESTO, Iberia, Informática El Corte Inglés, INH-Repsol, IBM, RENFE, Tabacalera, Unión Eléctrica Fenosa, y la Universidad Autónoma de Madrid con la colaboración del Ministerio de Industria y Turismo y de la CICYT.

ÁREAS DE APLICACIÓN DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL

En la actualidad las aplicaciones de la Inteligencia Artificial son cada vez más variadas, ya que se trata de una disciplina en constante evolución, pero pueden concretarse en las siguientes grandes áreas: sistemas de procesamiento del lenguaje natural, sistemas de reconocimiento de la visión, robótica, sistemas basados en el conocimiento y sistemas expertos, redes neuronales, aprendizaje inductivo y razonamiento basado en casos, algoritmos genéticos, otras áreas.

1) Los sistemas de procesamiento del lenguaje natural son sistemas de sistemas cuyo objetivo es el tratamiento automático de la información lingüística, es decir, se trata de sistemas en los que el usuario introduce los datos en el ordenador utilizando el mismo lenguaje que utiliza para comunicarse con otras personas, el ordenador codifica esa información en lenguaje de máquina para poderla procesar y, una vez procesada, generar la salida adecuada en lenguaje natural.

2) Los sistemas de reconocimiento de la visión son programas de ordenador que realizan tareas de tratamiento de imágenes, para manipularlas, realizar trabajos

de creatividad, publicidad, edición, controlar procesos industriales, de seguridad, etc., mediante la incorporación de la capacidad visual a un ordenador para que sea capaz de identificar lo que ve. Su estudio se centra principalmente en el desarrollo de sensores capaces de observar el entorno y de poder transmitir lo que observan a un robot, con el fin de que éste se retroalimente continuamente, en tiempo real, y pueda cambiar las operaciones que realiza en función de los cambios en el entorno.

3) *La robótica* es el campo de la Inteligencia Artificial concerniente al diseño, fabricación e implementación de robots, es decir, de máquinas que realizan de forma repetitiva y exactamente igual aquello que les ha enseñado un operario. Las aplicaciones más habituales se dan en la industria de grandes series sobre todo cuando la producción es flexible; en la fabricación y manipulación de explosivos; en el espacio, etc.

4) *Los sistemas basados en el conocimiento* son programas informáticos que contienen el conocimiento de un dominio específico de una forma explícita y separado del resto del sistema, es decir, existe una clara separación entre los conocimientos que posee el sistema sobre el dominio y los mecanismos de explotación que utiliza el sistema para llegar a establecer sus conclusiones.

Quando el conocimiento que contiene el sistema basado en el conocimiento es proporcionado por personas expertas en el dominio, nos encontramos ante los *sistemas expertos*.

Los *sistemas expertos* son programas que imitan el proceso de razonamiento de los expertos humanos y proporcionan marcos de decisión con el tipo de consejo similares a los que se recibirían de un experto humano.

5) *Las redes neuronales* son sistemas que simulan el proceso de reconocimiento del cerebro humano y al igual que las neuronas biológicas, estos sistemas están diseñados para aprender de la observación y la repetición. Las redes neuronales tratan de resolver de forma eficiente problemas en los cuales la información es difusa, incierta, contradictoria o errónea.

En consecuencia como los problemas susceptibles de ser resueltos mediante la metodología de las redes neuronales son: problemas de optimización, problemas de reconocimiento y problemas de generalización.

6) *Los sistemas inductivos* generan un árbol de decisión a partir de un conjunto de ejemplos que constituyen el conjunto de entrenamiento. Es decir, se trata de sistemas que parten de un conjunto de ejemplos según un atributo, y van seleccionando hasta que todos los ejemplos del subconjunto elegido pertenezcan a una misma clase conduzcan a un mismo resultado. Estos sistemas son útiles en aplicaciones simples donde el conjunto de entrenamiento es relativamente completo y exacto, se conocen todos los datos y sus soluciones.

Dentro del conjunto de sistemas inductivos cabe destacar los sistemas de *razonamiento basado en casos* (RBC) que recuperan la experiencia relevante (hechos y soluciones históricos) anterior, de la que se dispone, para solucionar nuevos problemas que presentan características similares. El proceso que siguen es el siguiente: en primer lugar se indican las características del problema a resolver; a partir de ellas el sistema realiza una búsqueda en la base de casos que posee hasta encontrar casos similares al presentado; posteriormente, la solución de los casos encontrados se adaptan al problema planteado y en la medida en que dicha solución sea aceptada por el usuario, se añadirá a la base de casos, para poder ser examinado cuando se plantee un nuevo problema al sistema.

Los sistemas RBC son adecuados para aquellos problemas que se caracterizan por: existir mucha experiencia, la experiencia en el dominio es valiosa y difícil de adquirir, el conocimiento puede ser capturado a través de casos, la creatividad y sentido común son partes del proceso de resolución del problema y el conocimiento es difícil de representar mediante reglas.

7) *Los algoritmos genéticos* son una familia de métodos de búsqueda adaptativa de soluciones. Como señalan Sierra, et al. (1995, a: 61), “estos algoritmos comienzan con una colección de datos o patrones generados aleatoriamente y evolucionan posteriormente hacia una solución mediante técnicas de adaptación

de los patrones iniciales. La solución no es necesariamente la óptima, pero puede estar muy cerca de ella.”

DEFINICIÓN DE SISTEMA EXPERTO

La primera definición de *sistema experto* se debe a Edward Feigenbaum de la Universidad de Stanford quien en el Congreso Mundial de Inteligencia Artificial de 1977, definió un *sistema experto* como: “*un programa de ordenador inteligente que usa conocimiento y procedimientos de inferencia para resolver problemas que son lo suficientemente difíciles como para requerir la intervención de un experto humano para su resolución*”

Los sistemas expertos son programas de ordenador que capturan el conocimiento de un experto, e imitan sus procesos de razonamiento cuando resuelve los problemas de un determinado dominio. El grupo especialista de la Sociedad Británica de ordenadores en Sistemas Expertos los define como:

La incorporación dentro de un sistema de ordenador de un componente básico en el conocimiento, correspondiente a una habilidad experta, de tal forma que el sistema pueda ofrecer asesoramiento inteligente o tomar una decisión inteligente sobre una función del proceso. Una característica adicional deseable, que muchos consideran fundamental, es la capacidad del sistema, si se le solicita, de justificar su propia línea de razonamiento de un modo directamente inteligente para el interrogador. El estilo adoptado para alcanzar estas características es la programación basada en reglas

Los S.E. también pueden ser definidos en función de sus características. Y podemos identificar las siguientes características funcionales

- Pueden resolver problemas muy difíciles tan bien o mejor que los seres humanos
- Razonan heurísticamente, usando lo que los expertos consideran reglas empíricas efectivas, e interactúan con los humanos de forma adecuada, incluyendo el lenguaje natural
- Manipulan y razonan sobre descripciones simbólicas.
- Pueden funcionar con datos que contienen errores usando reglas de enjuiciamiento inciertas.
- Pueden contemplar múltiples hipótesis en competición simultáneamente.

- Pueden explicar por que están formulando una pregunta
- Pueden justificar sus conclusiones.

En la medida en que los *sistemas expertos* actúan como ayudantes inteligentes de los expertos humanos y como consultores cuando no se tiene otra posibilidad de acceder a la experiencia y al conocimiento, podríamos decir que el objetivo final de todo *sistema experto* es sustituir al experto humano en la resolución de problemas y, por supuesto, mejorarle. Pero además de este objetivo, podríamos citar los siguientes *objetivos*.

- Mejorar la calidad del conocimiento de los expertos humanos.
- Conseguir la supervivencia del conocimiento y que no muera con la muerte física del experto humano.
- Multiplicar el número de expertos y, por tanto, hacer más accesible el conocimiento existente.
- Disminuir el coste del conocimiento.

EVOLUCIÓN DE LOS SISTEMAS EXPERTOS

Los *sistemas expertos* son una de las áreas principales de aplicación de la inteligencia artificial que comenzaron a desarrollarse en los años sesenta. Se pueden distinguir tres etapas en la aparición y diseño de los *sistemas expertos*:

1.- Etapa de iniciación, entre 1965 y 1970, en la que se desarrollan los primeros prototipos de sistemas expertos, como por ejemplo: DENDRAL (resuelve problemas de química molecular) y MACSYMA (resuelve más de seiscientas operaciones matemáticas diferentes).

2.- Etapa de experimentación y desarrollo, entre 1970 y 1980, en la cual se produjo la mayor aportación de Europa a la Inteligencia Artificial y en particular a los sistemas expertos, a través del desarrollo del lenguaje PROLOG (PROgraming language for LOGic). Durante esta etapa aparecen los sistemas expertos más conocidos como son: MYCIN (para la consulta y diagnóstico de la meningitis) y PROSPECTOR (evalúa prospecciones geológicas con el fin de hallar yacimientos minerales).

3.- *Etapa de industrialización, a partir de 1980*, en ella numerosas empresas de alta tecnología como IBM, Fujitsu Digital Equipment Corporation, Hewlett Packard, etc., comienzan a investigar y desarrollar *sistemas expertos*, con el objetivo de integrar dichos sistemas con otras aplicaciones de la inteligencia artificial, para de esta forma mejorar sus prestaciones.

REDES NEURONALES.

Las redes neuronales son una rama de la inteligencia artificial que tiene como objetivo principal imitar el procesamiento de la información que realizan las neuronas del cerebro humano. Las redes neuronales son sistemas informáticos de procesamiento y representación del conocimiento que imitan de forma simplificada las redes de neuronas del cerebro humano.

Las redes neuronales, a imitación del cerebro están formadas por múltiples procesadores elementales denominados neuronas artificiales. Una neurona artificial puede estar conectada a muchas otras neuronas. Los enlaces entre las distintas neuronas artificiales constituyen la sinapsis. Las neuronas artificiales están formadas por tres componentes

- Las dendritas: que son los canales de entrada de la información en las neuronas
- El cuerpo celular o soma, que integra las señales de entrada y proporciona una respuesta.
- El axón, que es el canal de salida que envía la respuesta a otras neuronas.

En una red de neuronas artificiales, la información no está concentrada en un punto, como en la informática tradicional, sino a través de toda la red neuronal, en un conjunto de neuronas artificiales que procesan e intercambian información, de esta forma se consigue una mayor accesibilidad a toda la información del sistema desde cualquier punto del sistema.

Una *neurona artificial* es una unidad elemental de procesamiento capaz de recibir, procesar y transmitir información. Un conjunto de neuronas artificiales enlazadas entre sí en forma de red constituye una *red neuronal*. Las redes neuronales están organizadas en diversas capas de neuronas artificiales. Aunque existen diversos

tipos de arquitecturas de redes neuronales, la arquitectura más común está organizada en tres capas de neuronas:

- 1 la capa de neuronas de entrada, que recibe la información del exterior del sistema;
- 2 las capas de neuronas intermedias o capas ocultas, que procesan la información, y
- 3 la capa de neuronas de salidas, que proporciona al exterior el resultado del proceso.

Las neuronas artificiales realizan operaciones sencillas con las señales que reciben del exterior (generalmente 0 ó 1). Las conexiones entre las neuronas artificiales llevan asociados unos pesos, llamados *pesos sinápticos*, que modulan la información que se intercambia entre las distintas capas. Los valores asignados a cada neurona artificial se combinan con los pesos sinápticos, por medio de una función matemática, para realizar una operación. si el resultado de dicha operación es superior a un determinado nivel “umbral” la neurona se activa (señal 1) y pasa, a su vez, información a las siguientes capas de neuronas, si el resultado es inferior a dicho nivel “umbral” la neurona permanece inactiva (señal 0) . El conocimiento contenido en una neurona es un momento determinado vendrá determinado por la suma del conocimiento contenido en las neuronas con las que está conectada, ponderado por los pesos sinápticos correspondientes. De esta forma, la red neuronal, por medio de un algoritmo de aprendizaje, puede ir poco a poco aprendiendo y aumentando su conocimiento por medio de un conjunto de ejemplos, proporcionando al final del proceso un resultado que es comparable con los datos iniciales y con unos datos tipo esperados. El proceso de entrenamiento de la red suele ser muy lento pero, una vez que la red ha aprendido, la velocidad de respuesta de la red a un estímulo es inmediata, pues el conocimiento se encuentra repartido entre toda la red.

Entre las principales características de las redes neuronales hay que citar:

- su capacidad de aprendizaje a partir de la experiencia, analizando un conjunto amplio de ejemplos;
- la velocidad de respuesta de la red una vez se ha concluido el proceso de aprendizaje;
- su robustez, pues, debido a que el conocimiento está repartido entre multitud de neuronas a lo ancho de toda la red, puede funcionar aunque se

produzcan fallos en alguna de sus neuronas o el conocimiento sea incompleto o incierto.

La arquitectura de los ordenadores en los que se basan las redes neuronales es muy distinta a la arquitectura de ordenadores tradicional de *Von Neumann*. Debido a que las neuronas artificiales funcionan como procesadores elementales de información, los ordenadores de procesamiento en paralelo son los ideales para su implementación, ya que permiten el procesamiento en paralelo de gran volumen de datos a gran velocidad. No obstante, debido al alto coste de estos ordenadores, también se pueden simular redes neuronales en ordenadores convencionales de proceso secuencias, pero entonces el proceso de entrenamiento de la red resulta muy lento

DIFERENCIAS ENTRE LOS SISTEMAS EXPERTOS Y LAS REDES NEURONALES

El objetivo principal de las *redes neuronales* es, en cierto modo, similar al de *los sistemas expertos*, pues ambos pretenden capturar el conocimiento adquirido por la experiencia para realizar de forma eficiente una determinada tarea. sin embargo, existen diferencias importantes entre ambos sistemas. En la Tabla 1 se pueden ver resumidas las fortalezas y debilidades de ambos sistemas.

También existe una diferencia muy importante entre ambos sistemas en cuanto al tipo de conocimiento que engloban. Los *sistemas expertos* incluyen un *conocimiento simbólico*, principalmente de tipo heurística, adquirido normalmente de forma verbal de un experto, el cual se representa explícitamente en forma de reglas. mientras que las *redes neuronales* contienen un *conocimiento subsimbólico*, que los expertos no saben explicitar porque está poco elaborado, pero que se puede obtener del análisis de un conjunto de ejemplos anteriores contenidos en una base de datos. Ahora bien, aunque en la práctica resulta difícil encontrar tareas que requieren un sólo tipo de estos conocimientos en estado puro, lo más frecuente es que en las tareas están implicados ambos tipos de conocimientos, el conocimiento simbólico y el conocimiento subsimbólico, por lo que lo ideal sería integrar ambas tecnologías con el fin de optimizar las soluciones.

Tabla 1. Diferencias entre los sistemas expertos y las redes neuronales artificiales

SISTEMAS EXPERTOS	REDES NEURONALES ARTIFICIALES
Tienen capacidades para que los usuarios los desarrollen, pero es preferible que lo hagan profesionales cualificados dadas las complicaciones que entraña la adquisición de conocimientos	Tienen capacidades para que los usuarios los desarrollen, y pueden hacerlo incluso aquellos con poca formación
Su desarrollo lleva mucho más tiempo. Hay que tener expertos disponibles y dispuestos a articular el proceso de resolución de problemas	Pueden desarrollarse en poco tiempo. Los expertos únicamente tienen que identificar los datos a introducir, los resultados, y una amplia gama de muestras.
las reglas deben estar claramente identificadas. Difíciles de desarrollar en aquellas decisiones que se toman de forma intuitiva.	No hay que identificar las reglas. Muy adecuadas para decisiones tomadas de forma intuitiva.
Torpes en el reconocimiento de patrones y el análisis de datos, como los pronósticos	Muy adecuadas para éstas últimas aplicaciones, pero necesitan una amplia gama de datos de nuestra.
No son tolerantes a los fallos	Muy tolerantes a los fallos
los cambios en el entorno de problemas garantizan el mantenimiento	Muy adáptales a entornos de problemas cambiantes
la aplicación debe ajustarse a uno de los esquemas de representación de conocimientos.	Se puede intentar con las redes de neuronas artificiales si la aplicación no se ajusta a uno de los esquemas de representación del sistema experto.
El rendimiento del experto humano que ayudó a crear el sistema experto establece un límite en el rendimiento teórico de éste último.	las redes de neuronas artificiales superan a los expertos humanos en determinadas aplicaciones, como los pronósticos.
Tienen sistemas de explicación para justificar porqué y cómo se tomó la decisión. Necesarios cuando hay que explicar la decisión para inspirar confianza a los usuarios. Recomendados cuando el proceso de resolución de problemas es bien conocido.	No tienen sistema de explicación, y actúan como caja negra.
útiles cuando se toman una serie de decisiones en forma de árbol y cuando en esos casos es necesaria la interacción de un usuario.	útiles para decisiones repentinas
útiles cuando es necesario emular funciones humanas de alto nivel, como el razonamiento y la deducción.	útiles cuando es necesario emular funciones humanas de bajo nivel, como el reconocimiento de patrones.
Los sistemas expertos no son útiles para dar validez a la corrección desarrollo de un sistema de redes neuronales artificiales	Las redes de neuronas artificiales en ciertos casos son útiles para validar la corrección del desarrollo de un sistema experto

Fuente: SLATER, JOHN R., HAZEN, SUSAN J. y SAKTHIVEL, SACHI: "On Selecting Appropriate Technology for Knowledge Systems". Journal of Systems Management, vol. 44, nº. 10, < octubre, 1993, p. 15.

INTREGRACIÓN DE LOS SISTEMAS EXPERTOS Y LAS REDES NEURONALES

La integración de ambas tecnologías se puede realizar desde dos enfoques diferentes. un primer enfoque consistiría en desarrollar ambos sistemas por separado pero complementándose mutuamente, es decir, supliendo unos los defectos de los otros. Así, por ejemplo, las redes neurales se pueden utilizar para complementar a los sistemas expertos en aquellos dominios del conocimiento que difícilmente pueden ser explicitados por el experto humano en forma de reglas, ya que las primeras no requieren la existencia de un experto para obtener el conocimiento pues éste se puede obtener a través de un conjunto de ejemplos. También se podría utilizar una red neuronal para realizar las predicciones, clasificaciones y análisis de los datos financieros y, posteriormente, un sistema experto realizaría la interpretación y explicación de los datos obtenidos por la red neuronal. Las redes neuronales, gracias a su capacidad de aprendizaje, también se pueden utilizar como método para adquisición del conocimiento de un sistema experto. También se pueden invertir el papel de ambas herramientas. Así, por ejemplo, en el análisis de los datos financieros, un sistema experto podría realizar una selección y evaluación de los datos y, a continuación, una red neuronal utilizaría los resultados obtenidos por el sistema experto. El segundo enfoque se basa en integrar las redes neuronales con los sistemas expertos en una *red experta* o *experto artificial*, que consiste en un sistema híbrido que integra de forma modular una red neuronal y un sistema experto, de esta manera se aumentan las capacidades de los dos tipos de sistemas y se disminuyen sus debilidades. En la siguiente tabla se muestran resumidas las herramientas que se deben utilizar en relación con el tipo de problema a resolver.

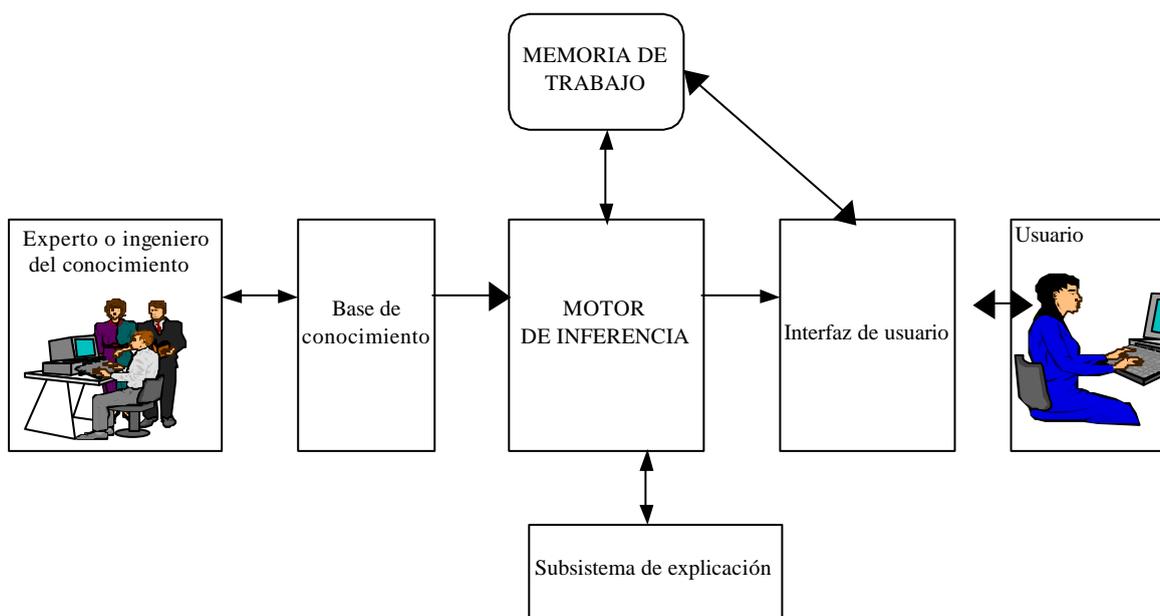
NATURALEZA DEL PROBLEMA A RESOLVER	HERREMIENTA A UTILIZAR
Trabajo muy repetitivo con un número limitado y conocido de posibilidades	Problema algorítmico clásico
Trabajo poco repetitivo con un número limitado de ejemplos	Red neuronal
Trabajo que contiene informaciones incompletas erróneas, pero muchos ejemplos	Red neuronal
Trabajo medianamente repetitivo con información de calidad mediocre y un número limitado de ejemplos	Red experta

COMPONENTES DE UN SISTEMA EXPERTO

Debido a la gran variedad de técnicas que se han desarrollado para crear *sistemas expertos* y de problemas que pretenden resolver, no existe algo que pueda ser llamado *sistema experto* “estándar”, pero sí hay, como se indica en el Informe Auerbach (1989: 78), algunos componentes básicos que la mayoría de los *sistemas expertos* tienen son: base de conocimientos, memoria de trabajo, motor de inferencia e interfaz de usuario. En la figura 1 se muestran los componentes de un *sistema experto* y las relaciones entre ellos.

La *BASE DE CONOCIMIENTOS* contiene hechos específicos, tales como juicios, intuición y experiencias, acerca de un área específica del saber, representados de manera simbólica, mediante la utilización de alguno de los métodos de representación del conocimiento. La base de conocimientos, constituye el banco de datos del *sistema experto*, que está compuesto fundamentalmente por hechos y por reglas. Las reglas representan acciones que el sistema deberá iniciar cuando se encuentre con determinadas condiciones, mientras que los hechos especifican verdaderas proposiciones acerca del problema a resolver; ambos constituyen el conocimiento abstracto o general del *sistema experto*

Figura 1: Componentes de un Sistema experto



La base de conocimientos pone a disposición del *MOTOR DE INFERENCIA* el conocimiento abstracto. El motor de inferencia interpreta las reglas contenidas en la base de conocimientos y realiza procesos de inferencia que relacionan los hechos con las reglas, para obtener conclusiones al aplicarlo sobre el problema planteado por los usuarios, llamado conocimiento concreto. Las conclusiones que genera un *sistema experto* son el resultado de las estrategias inferenciales del mismo, que operan sobre los conocimientos codificados en su base de conocimientos.

Todos los datos necesarios sobre el problema que se desea resolver (datos iniciales) y todos los procedimientos (resultados intermedios), son almacenados en la *MEMORIA DE TRABAJO* o “*memoria caché*”; por lo que su contenido tiene un carácter cambiante pues varía al plantear un nuevo problema al Sistema experto. Durante el proceso de resolución del problema puede ocurrir que no puedan obtenerse conclusiones fiables, por lo que el *sistema experto* debe solicitar información que complete ese conocimiento para proceder de nuevo a su reelaboración y repetir el ciclo hasta llegar a conclusiones válidas, haciendo necesaria la existencia de una *INTERFAZ DE USUARIO* que haga posible la comunicación. El *interfaz de usuario* es la parte del sistema que facilita la comunicación entre el usuario y el motor de inferencia, produciéndose una comunicación bilateral (*usuario-sistema experto, sistema experto-usuario*), ya que el usuario debe ser capaz de describir el problema al *sistema experto* y éste debe ser capaz de responder con sus recomendaciones.

Una vez producidas las conclusiones el usuario puede interesarse también por el proceso de razonamiento seguido por el sistema para llegar a la conclusión; por lo que debe existir un *SUBSISTEMA DE EXPLICACIÓN* que, tras el análisis de los procesos seguidos por el motor de inferencia, comunica al usuario, en forma ordenada e inteligible, los hechos determinantes que diferencian las distintas alternativas de decisión. El subsistema de explicación facilita dicha información a través del interfaz con el usuario.

CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA EXPERTO

DETERMINACIÓN DE LOS PARTICIPANTES

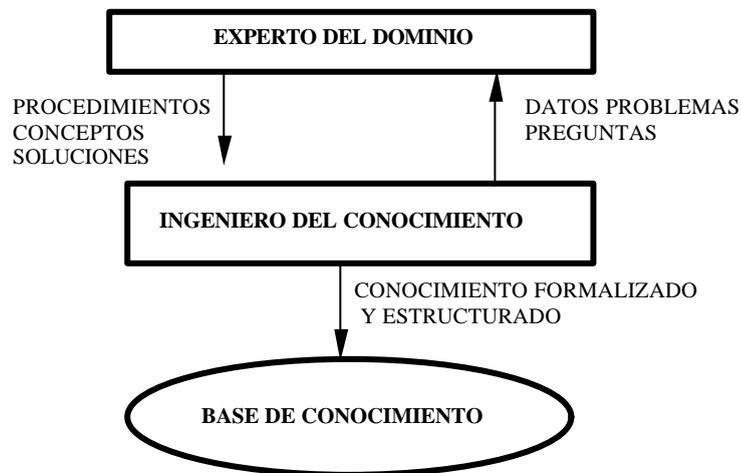
Normalmente los participantes en el desarrollo de los *sistemas expertos* serán dos: el *experto en el dominio* y el *ingeniero del conocimiento*, cada uno con unas funciones claramente definidas, pero trabajando de forma conjunta. También hay que involucrar a los directivos de la empresa pues, la puesta en funcionamiento de un *sistema experto* es un proceso complejo que requiere de muchos recursos materiales y humanos.

El *experto en el dominio* es una persona que tiene reconocidos conocimientos y habilidades especiales para resolver un tipo de problema particular. Su misión es comunicar al ingeniero del conocimiento su pericia, saber hacer y conocimientos sobre el dominio para que éste lo estructure y codifique dentro de la base de conocimiento del *sistema experto*.

El *ingeniero del conocimiento* analiza la forma de actuar del experto en el dominio cuando éste se enfrenta a problemas específicos, capturando los conocimientos, métodos, técnicas y procedimientos heurísticos que el experto utiliza, para codificarlo y desarrollar el sistema.

La interacción entre el experto en el dominio y el ingeniero del conocimiento aparecen reflejados en la figura 2.

Figura 2: Interacción experto- ingeniero del conocimiento



FACTORES A CONSIDERAR

Antes de construir un *sistema experto* se debe definir correctamente el problema a resolver identificando claramente los objetivos que se persiguen, y posteriormente plantearse la siguiente pregunta:

“¿El problema es susceptible de ser tratado mediante una metodología de sistema experto?”.

La contestación a esta pregunta es necesaria debido a que construir un *sistema experto* no es una tarea fácil y, además hay que tener en cuenta que no todo lo que realiza un experto humano es conveniente y susceptible de ser desarrollado mediante la metodología de los *sistemas expertos*.

A la hora de considerar si un *sistema experto* puede ser desarrollado en un área de conocimiento, deberían tenerse en cuenta los siguientes factores:

- *Disponibilidad*: uno o más expertos son capaces de comunicar como resuelven ellos los problemas a los que se les va a aplicar el *sistema experto*.
- *Complejidad*: la solución de los problemas es una tarea compleja y difícil de realizar a través del procesamiento convencional de la información ya que para solucionar los problemas se requiere un proceso de inferencia lógica.
- *Dominio*: el dominio o materia es relativamente pequeño y limitado.
- *Expertos*: la solución del problema requiere de la presencia de expertos, es decir, pocas personas poseen el conocimiento, las técnicas y la intuición necesarias para resolver el problema.
- *Estructura*: el proceso de solución debe ser capaz de resolver problemas con datos inciertos, desconocidos o conflictivos.

Por su parte, Waterman, (1986: 127), *“considera que un problema es susceptible de ser resuelto mediante una tecnología de sistema experto únicamente si el desarrollo del mismo es posible, justificado y apropiado”.*

Es *posible* resolver un problema mediante una metodología de *sistema experto*, cuando el dominio del mismo reúne las siguientes características:

- La tarea no requiere sentido común.
- La tarea solo requiere pericia cognoscitiva, es decir, experiencia y habilidad humana no física.
- Los expertos son capaces de articular sus métodos, es decir, son capaces de decir como resuelven los problemas.
- Existen expertos experimentados en el dominio.
- Existe aceptación de las soluciones, es decir, no existe diversidad de opiniones entre los expertos.
- La tarea no es demasiado difícil.
- El dominio es bien conocido.

Sólo porque sea posible desarrollar un *sistema experto* no es razón suficiente para emprender la tarea, sino que además se debe *justificar*, el esfuerzo de su desarrollo y para que esté justificado el desarrollo de un *sistema experto* se deben cumplir las siguiente condiciones:

- La resolución del problema produce un elevado beneficio.
- Escasean los expertos humanos.
- Disminuye la pericia humana.
- Se necesita pericia en diversos lugares.
- Se necesita pericia en ambientes hostiles.

Además de ser posible y estar justificado el desarrollo de un *sistema experto* para resolver un problema, éste debe ser *apropiado*. Los factores que determinan cuando es apropiado desarrollar un *sistema experto* son:

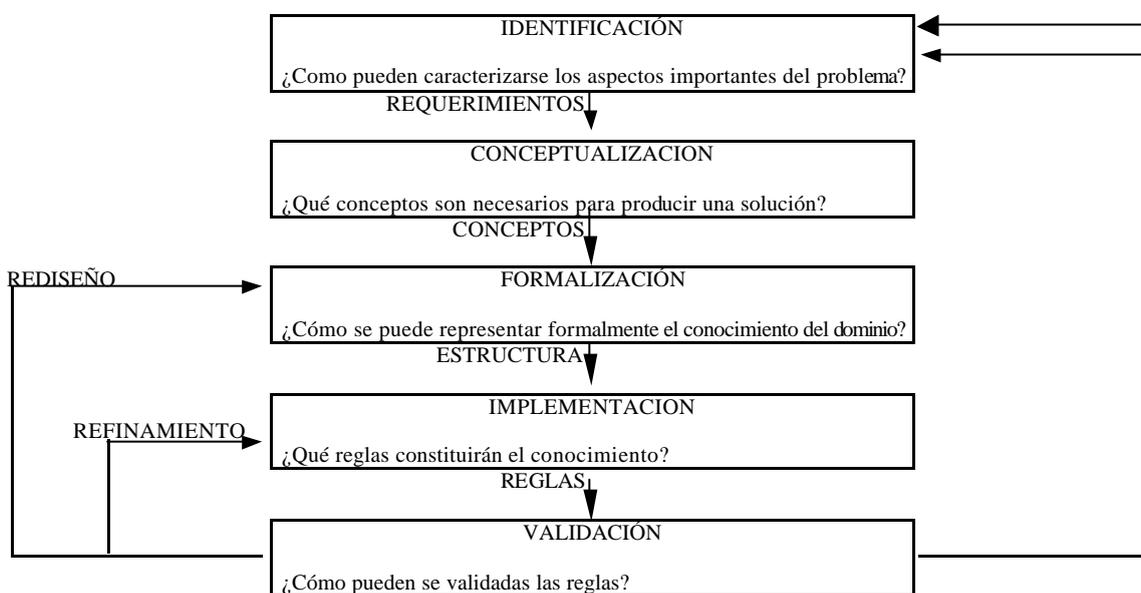
- La tarea requiere manipulación simbólica.
- La tarea requiere soluciones heurísticas, pues no existe solución algorítmica o en caso de existir, tiene una complejidad temporal elevada.
- La tarea no es demasiado sencilla.
- La resolución del problema tiene un valor práctico.
- El problema tiene un tamaño manejable.

Si el problema es susceptible de ser resuelto mediante la tecnología de *sistemas expertos* por ser posible, justificado y apropiado, se comienza con el proceso de desarrollo del mismo siguiendo una metodología determinada.

METODOLOGÍA DE DESARROLLO

La metodología más utilizada para el desarrollo de un *sistema experto*, consta de las siguientes fases: identificación, conceptualización, formalización, implementación y validación propuesta por Buchanan (Waterman, 1986: 136). En la figura 3 se muestra como estas fases interactúan.

Figura 3: Fases en el desarrollo de un Sistema Experto



Fuente: Waterman, 1986, pp. 137

En la primera fase *IDENTIFICACIÓN Y ANÁLISIS* se definirá el problema que se trata de resolver, identificando claramente los objetivos que se persiguen y los medios de los que se dispone. Durante esta fase se formula una descripción preliminar del problema, que será revisada por el experto, sugiriendo los cambios que considere oportunos. El ingeniero modificará su descripción preliminar con los cambios sugeridos, presentándola de nuevo al experto para que sugiera nuevos cambios, así sucesivamente hasta que ambos lleguen al convencimiento de que la descripción del problema es la adecuada.

En la fase de *CONCEPTUALIZACIÓN* se definen los conceptos que permiten una representación adecuada del conocimiento identificando todos los elementos necesarios

par la solución del problema. Estos elementos son: conceptos, relaciones, procedimientos, reglas de inferencia, heurísticas, etc.

En la fase de *FORMALIZACIÓN* se deben plasmar las relaciones entre todas las variables, de entrada, intermedias y la variable objetivo final, de una manera acorde con la herramienta que se va a utilizar. En el supuesto de un *sistema experto* basado en reglas el ingeniero del conocimiento debe desarrollar un conjunto de reglas hasta que representen el conocimiento del experto adecuadamente, creando el llamado “diagrama de dependencias” en el cual figuran todas las variables relevantes y las relaciones de dependencia entre ellas.

En la etapa de *IMPLEMENTACIÓN* el ingeniero del conocimiento plasma el conocimiento formalizado en la etapa anterior en el ordenador utilizando las herramientas y técnicas especificadas, para ello se requiere:

- *Contenido*: vendrá dado por el conocimiento que se ha explicitado en la etapa de formalización en el diagrama de dependencias.
- *Forma*: vendrá dada por el lenguaje y herramienta elegida para el desarrollo del sistema .
- *Integración*: comprende combinar y reorganizar diversas partes del conocimiento para eliminar desajustes globales entre estructuras de datos y reglas o especificaciones de control.

La última fase es la de *VALIDACIÓN* o *PRUEBA*, en ella se somete el modelo construido a distintas pruebas para poder validar el sistema creado; se estudian las soluciones y la forma de llegar a ellas en el caso de que se produzcan incongruencias. Durante este proceso es posible que sea necesario volver atrás para añadir reglas o eliminar otras que se demuestre que son innecesarias.

En esta fase se pueden descubrir problemas o errores tales como:

- Falta de conceptos y relaciones.
- Nivel de representación del conocimiento inadecuado.
- Mecanismos de control difíciles de manejar.

Estos problemas, pueden forzar a los diseñadores del sistema a volver a fases previas para:

- Reformular conceptos.
- Refinar las reglas de inferencia.
- Revisar el flujo de control.

Una vez construido el *sistema experto* propiamente dicho y comprobado su correcto funcionamiento, se debe construir el interfaz de usuario. Dado que el usuario final del sistema va a ser una persona que, por lo general, no tiene conocimientos profundos de informática ni de *sistemas expertos*, este interfaz deberá ser sencillo y fácil de manejar, para que el usuario tenga la posibilidad tanto de utilizar la base de datos asociada al *sistema experto* como de realizar consultas al sistema.

ESTABLECIMIENTO DEL COSTE

En la determinación del coste del *sistema experto* debemos tener en cuenta distintos aspectos:

- El coste del hardware: en la actualidad este coste no es demasiado representativo pues, la mayoría de los *sistemas expertos* pueden funcionar en ordenadores personales cuyo coste no es demasiado elevado.
- El coste del software: dependerá del tipo de herramienta que se utilice para desarrollar el *sistema experto*. En la actualidad y gracias al auge que ha experimentado INTERNET, es posible obtener software para desarrollar *sistemas expertos* de forma gratuita.
- El coste de adquisición y representación del conocimiento: pues ambos son procesos lentos en los cuales se invierte mucho tiempo.
- El coste de mantenimiento del sistema: pues los *sistemas expertos* deben ser revisados continuamente con el objetivo de mantener al día sus conocimientos.

A pesar de que pueda considerarse que el desarrollo de un *sistema experto* es caro, hay que considerarlo como una inversión a largo plazo y pensar en los beneficios que puede reportar su uso.

ADQUISICIÓN DEL CONOCIMIENTO

Una vez se ha identificado el experto en el dominio que ha de intervenir en la construcción del *sistema experto*, el ingeniero del conocimiento debe extraer el conocimiento de dicho experto e incorporarlo en la base de conocimientos del sistema.

Entre las muchas técnicas existentes para la adquisición del conocimiento, destacan las siguientes:

1. *Brainstorming*: generación rápida de un gran número de ideas.
2. *Entrevistas*: este método es el más utilizado para la adquisición del conocimiento, pues permite obtener de forma rápida gran cantidad de conocimiento. Pero tiene el inconveniente de que no se obtiene todo el conocimiento necesario, pues el experto no comunica todo su conocimiento, por lo que éste debe ser inferido utilizando otras técnicas.
3. *Técnicas de análisis de protocolos*, dentro de estas técnica se incluyen la observación participativa y el análisis de protocolos. En la “*observación participativa*” el ingeniero del conocimiento se convierte en aprendiz o participa en el proceso que sigue el experto para la resolución del problema. En el “*análisis de protocolos*” el experto realiza un comentario en directo en voz alta de lo que está haciendo a medida que lleva a cabo su tarea, sobre el conocimiento que posee y sobre sus estrategias para resolver el problema.
4. *Técnicas de interfaz de usuario, técnica del mago de Oz*, en la cual un experto simula el comportamiento de un sistema futuro.

A pesar de que las técnicas citadas son útiles para adquirir el conocimiento que formará parte de la base de conocimiento, ninguna de ellas proporciona toda la información necesaria sobre todos los aspectos del conocimiento; en consecuencia, el ingeniero del conocimiento deberá utilizar varias técnicas con el fin de obtener la mayor cantidad posible de información sobre el conocimiento de un experto.

Otro de los problemas que presenta la adquisición del conocimiento es el desacuerdo entre expertos, ya que los puntos de vista de los expertos no suelen ser homogéneos, sino que se diferencian en muchos matices aun disponiendo de los mismos datos. Por ello es conveniente incorporar en el *sistema experto*, el conocimiento de varios expertos, porque de esta forma el conocimiento del dominio se verá enriquecido.

REPRESENTACIÓN DEL CONOCIMIENTO

Tras la adquisición del conocimiento éste debe ser representado formalmente para que pueda ser trasladado a un programa informático y el motor de inferencia haga uso de él para llegar a una conclusión del problema a resolver.

Existen distintos métodos para representar el conocimiento, por ello deberá elegirse aquel que mejor se adecue tipo de problema que pretenda resolver el *sistema experto*.

Los métodos de representación del conocimiento más utilizados son: redes semánticas, reglas de producción, marcos de referencia, ternas objeto-atributo-valor y programación orientada a los objetos.

A) En las *redes semánticas* el conocimiento se representa mediante una colección de objetos llamados “nodos” ligados entre sí, que representan objetos, conceptos o eventos. Las conexiones entre los nodos se denominan “arcos” y representan relaciones del tipo “es-un”, “forma parte-de”, etc. Los nodos están ordenados jerárquicamente de modo que las propiedades asociadas a cada uno de ellos son heredadas por todos los de inferior jerarquía asociados a él 1989.

B) *Las reglas de producción* constituyen el método más utilizado para la representación del conocimiento en los *sistemas expertos*. Se trata de estructuras del tipo *SI* “premisa” *ENTONCES* “conclusión”. La porción *SI* de la regla, especifica la condición o condiciones que deben cumplirse, si existe más de una condición entre ellas estarán conectadas por medio del operador lógico “y” pero

también pueden estar conectadas con el operador “o”; mientras que la porción *ENTONCES*, representa la acción o acciones que se deben realizar. En el momento en el que se compruebe que la premisa de una regla es cierta, se puede ejecutar ésta, en el sentido de que se llevan a cabo todas y cada una de las acciones indicadas en la conclusión de la regla; dichas acciones se convierten en nuevos hechos que pueden ser la premisa de una nueva regla que, a su vez, puede desencadenar nuevos hechos, y así sucesivamente.

Un ejemplo de regla de producción tomado de un *sistema experto* que contabiliza una factura de ventas, es el siguiente.

SI: Venta de mercaderías
 (y descuentos comerciales)
ENTONCES: Se abona la cuenta (700) venta de mercaderías por su importe sin IVA y
 (menos descuentos comerciales y)
 aparecerá en el Haber del asiento

C) *Los marcos de referencia*, también llamados *frames*, son una estructura o grupo de atributos que describen un determinado objeto. Cada uno de los atributos se denomina “slot” y puede contener: valores iniciales o valores por defecto; relaciones que les ligan con otros *frames* y que permiten heredar atributos de los *frames* jerárquicamente superiores o procedimientos para cambiar los valores de los atributos mediante la utilización de funciones que calculan el valor del atributo de acuerdo con la información suministrada.

D) *Las ternas objeto-atributo-valor* se basan en la idea de que los objetos se caracterizan por una serie de atributos a los que se pueden asignar valores. Los *objetos* pueden ser físicos o bien abstractos. Los objetos tienen asociadas unas características o propiedades, que son los *atributos*. El *valor* del atributo especifica la naturaleza de un atributo en un momento determinado.

E) *Expresiones lógicas* dentro de la lógica clásica, las dos formas más utilizadas en inteligencia artificial para representar el conocimiento son : la *lógica proposicional* y la *lógica de predicados*.

En la *lógica proposicional* las proposiciones son expresiones que pueden ser «verdaderas» o «falsas». Las expresiones que están unidas por los conectivos «y», «o», «implica» y «equivalente» se denominan *expresiones compuestas*. Existen diferentes reglas para propagar la veracidad de las expresiones dependiendo de los conectivos.

La *lógica de predicados* es una extensión de la lógica proposicional que permite representar cosas que no serían representables de forma razonable utilizando la lógica proposicional. La unidad central de la lógica de predicados es un “*objeto*” (por ejemplo: un balón), las expresiones acerca del objeto se llaman “*predicados*”; un predicado expresa una propiedad o una relación de un hecho; por ejemplo, “es rojo (balón)” es una afirmación que dice que un balón es rojo; tal afirmación es verdadera o falsa dependiendo de los argumentos.

F)En la programación orientada a los objetos para describir la realidad se utilizan “*objetos*”, que pueden ser genéricos “*clase*”, o concretos “*instancia*” que son realizaciones de una clase. Cada objeto se caracteriza por tener un estado representado mediante ciertas variables. Los objetos también contienen mensajes o descripciones sobre las operaciones que pueden desarrollarse en él, llamados “*métodos*”; los métodos dicen a los objetos “que hacer” y éstos deciden “cómo hacerlo”.

Las clases se relacionan entre sí mediante una estructura jerárquica formando subclases. Además, existen unos mecanismos de herencia que permiten declarar las variables que van a ser comunes a varias clases en una clase superior a ellas. Las relaciones de jerarquía entre las clases, así como los mecanismos de herencia entre las clases de objetos y los métodos pueden ser representados mediante un “diagrama de flujos” .

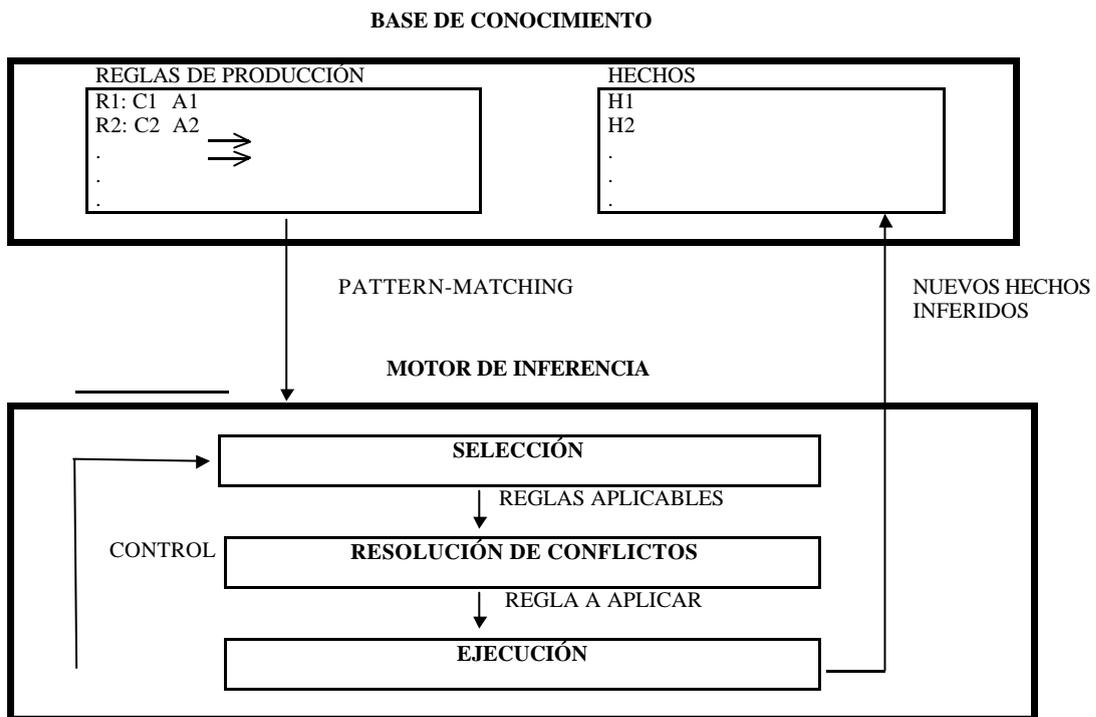
PROCESO DE INFERENCIA

Una vez que el conocimiento ha sido adquirido y representado en la base de conocimientos es necesario utilizar un mecanismo de razonamiento o procedimiento de inferencia que permita aplicar el conocimiento almacenado a la resolución del problema

planteado. El proceso de inferencia depende del tipo de representación del conocimiento adoptado para desarrollar el *sistema experto*.

En la figura 4 se puede ver esquemáticamente el proceso de inferencia de un *sistema experto* basado en reglas:

Figura 4: Proceso de inferencia



Fuente: Bernal , et al. (1987)

Los hechos contenidos en la memoria de trabajo (hechos concretos, del problema a resolver) y las reglas y hechos contenidos en la base conocimientos se relacionan mediante el *pattern matching* o estrategias de emparejamiento de reglas que permiten obtener conclusiones. Las estrategias de emparejamiento de las reglas pueden ser de tres tipos:

- *Modus ponens*: es la estrategia más común, afirma que si se tiene la regla:
 “Si A es cierto entonces B es cierto”
 y se sabe que “A es cierto”, entonces puede afirmarse que “B es cierto”.
- *Modus tollens*: esta estrategia afirma que si se tiene la regla:
 “Si A es cierto entonces B es cierto”

y se sabe que “B es falso”, entonces puede afirmarse que “A es falso”.

- *Resolución*: es la estrategia que se utiliza para la obtención de conclusiones compuestas a partir de dos reglas encadenadas; para ello, primero se sustituyen las reglas por expresiones lógicas equivalentes, después se combinan éstas entre sí para dar una nueva expresión lógica y por último, se combina ésta con la evidencia de los hechos.

Puede ocurrir que el emparejamiento de las reglas no siempre conduzca a una conclusión, siendo necesaria la utilización de una estrategia que seleccione las reglas aplicables cuando se presentan varias alternativas al mismo tiempo y no sea posible establecer una conclusión. Dichas estrategias de control de selección de reglas (cuales se disparan y cuales no) en un sistema basado en reglas pueden ser de tres tipos:

- *Backward Chaining* (encadenamiento regresivo o hacia atrás): se parte del objetivo y se comprueban las reglas cuyas conclusiones fructifican en el objetivo buscado. Se examinan las premisas de todas las reglas “candidatas” y si se comprueba que es cierta, se ejecuta la regla; la comprobación de la premisa de una regla puede llevar a otras reglas y éstas últimas a otras más.
- *Forward Chaining* (encadenamiento progresivo o hacia delante): en este caso se parte de unas condiciones que actúan como “disparador” de la conclusión de una regla. Estas acciones pueden cambiar el estado de la base de conocimientos de forma que se puedan ejecutar otras reglas hasta llegar al objetivo buscado.
- *Mixed Chaining*: consiste en poder cambiar dinámicamente el proceso de inferencia, pudiendo pasar del regresivo al progresivo y viceversa. Puede ser bastante útil para aumentar la velocidad y eficiencia del proceso.

Solucionado el conflicto y seleccionada una regla a aplicar ésta se ejecutará, produciendo nuevos hechos inferidos que se introducirán en la base de conocimientos o

seleccionando una nueva regla a aplicar. El proceso continúa hasta que ya no queden reglas por emparejar y se llega a la conclusión.

HERRAMIENTAS DE DESARROLLO DE SISTEMAS EXPERTOS

La selección de la herramienta a utilizar, es una de las fases más importantes en el proceso de desarrollo del sistema, pues de ella depende en gran medida que el resultado del *sistema experto* sea satisfactorio. Las herramientas que son utilizadas comúnmente para desarrollar el motor de inferencia y otros componentes del *sistema experto* son:

1. *Lenguajes de programación convencionales* (COBOL, PASCAL, Lenguaje C...), este tipo de lenguajes son los primeros que se utilizaron para escribir *sistemas expertos*. Su principal inconveniente es que todos los elementos del sistema deben desarrollarse partiendo de la nada.
2. *Lenguajes de programación de la Inteligencia Artificial* como el LISP o PROLOG. Estos lenguajes son en la actualidad los más utilizados para desarrollar *sistemas expertos* debido a que son muy potentes y flexibles.
3. *Lenguajes de programación orientados a objetos*, estos lenguajes son adecuados para el desarrollo de *sistemas expertos* por su enorme potencial de modelización del mundo real, mediante el establecimiento de jerarquías y la descomposición de sistemas complejos en objetos que se relacionan enviando mensajes.
4. *Shells (conchas de sistemas expertos)*. Una concha de *sistema experto* es un sistema completamente desarrollado pero con una base de conocimientos vacía. Las conchas contienen un motor de inferencias, un interfaz de usuario, un dispositivo de explicación y un dispositivo adecuado para entrar en la base de conocimientos. La mayoría de los *sistemas expertos* se han desarrollado haciendo uso de conchas y no de lenguajes, debido a que eliminan la programación, simplificando de esta forma el proceso de creación del sistema.

Ante el gran número de conchas existentes en el mercado, es conveniente realizar una evaluación de las mismas, para seleccionar aquella que más se adecua a las necesidades del sistema experto que se desea desarrollar; Moreno, et al., proponen cuatro aspectos a tener en cuenta para dicha evaluación:

- Método de representación del conocimiento que utiliza.
- Capacidad para el desarrollo de las aplicaciones.
- Dificultades de manejo, documentación y apoyo técnico.
- Coste de la herramienta.

5. *Aplicaciones empaquetadas* de sistemas expertos también llamados “lenguajes esqueléticos de ingeniería del conocimiento”, se trata de lenguajes de ordenador diseñados específicamente para construir *sistemas expertos*, que se han obtenido de un sistema experto ya existente al que se le ha suprimido la base de conocimiento, y conservado los restantes elementos del sistema experto.

ÁREAS DE APLICACIÓN DE LOS SISTEMAS EXPERTOS

La aplicación de los *sistemas expertos* se ha extendido a todas las ramas de la ciencia, en las que se necesita conocimiento especializado para resolver los problemas y dentro de cada una de estas ciencias a un gran número de actividades.

Así podemos indicar que en la actualidad los *sistemas expertos* se están aplicando en distintos campos como: construcción, química, electrónica, abogacía y asesoramiento legal, fabricación e industria, contabilidad y auditoría, gestión y finanzas, medicina, etc. En cada una de estos campos, las actividades en las que se están aplicando los *sistemas expertos* son muy diversas, destacando por su alto grado de satisfacción las siguientes:

- **INTERPRETACIÓN:** inferencia de la descripción de situaciones a partir de los datos.
- **PREDICCIÓN:** inferencia de consecuencias a partir de situaciones dadas.
- **DISEÑO:** Configuración de objetos con restricciones.

- **DIAGNOSTICO:** inferencia de fallos en el sistema a partir de observaciones.
- **PLANIFICACIÓN:** diseño de acciones.
- **MONITORIZACION:** comprobación de observaciones respecto a datos esperados o correctos.
- **DEPURACIÓN:** prescripción de remedios para las disfunciones.
- **REPARACIÓN:** ejecución de remedios para las disfunciones.
- **INSTRUCCIÓN:** diagnosis, depuración y reparación de la conducta del sistema.
- **CONTROL:** interpretación, predicción, reparación y monitorización de los comportamientos del sistema.

VENTAJAS E INCONVENIENTES DE LOS SISTEMAS EXPERTOS

Entre las *ventajas* de utilizar un *sistema experto* se encuentran:

- Permitir la utilización de personal que no está especializado en la materia para resolver problemas que requieren un conocimiento especializado en la misma.
- Posibilitar la obtención de soluciones rápidas y más fiables y, por lo tanto, más útiles para la toma de decisiones.
- Eliminar operaciones incómodas o monótonas.
- Aumentar la calidad de los trabajos, al tener incorporados las normas para realizarlos de forma eficaz y eficiente, proporcionar una orientación sobre como se deben realizar las tareas y controlar que éstas se realizan de acuerdo con las normas incorporadas.
- Aumentar la habilidad para realizar análisis complejos, pues pueden manejar grandes cantidades de datos.
- Permitir el acceso al conocimiento a poblaciones más amplias al facilitar el aprendizaje y comprensión, ya que son capaces de explicar como aplican el conocimiento en la resolución de los problemas.
- Preservar el conocimiento que podría perderse por irse de la empresa, por jubilación, por resignación o muerte del experto humano.
- Crear ventajas competitivas, en la medida en que los *sistemas expertos* pueden permitir mejorar la productividad interna y proporcionar mejores o nuevos servicios a los clientes.

- Permitir mejorar la productividad, ahorrando tiempo y dinero, debido a que el conocimiento es fácilmente accesible y los problemas se pueden ir resolviendo a medida que se van planteando y las decisiones se pueden tomar más rápidamente.

Entre los obstáculos o *inconvenientes* que presentan los *sistemas expertos* nos encontramos con :

- La complejidad de los procesos de extracción de conocimientos, pues en determinadas áreas existen tantas excepciones como reglas y en muchos casos los propios expertos humanos difieren en la solución a tomar.
- En muchos dominios existen problemas para representar el conocimiento, pues los expertos humanos no son capaces de estructurar el proceso de inferencia que se sigue para resolver los problemas.
- No tienen capacidad para reconocer un problema para el que su propio conocimiento es inaplicable o insuficiente, debido a que las bases de conocimientos de los *sistemas expertos* son finitas.
- Salvo que el sistema haya sido programado previamente para ello, no pueden tratar problemas cuyas informaciones sean incompletas o inciertas, en cuyo caso la solución al problema será errónea.
- No son capaces de adaptar las estrategias si cambian las circunstancias; aunque este inconveniente se puede salvar en la medida en que es fácil introducir nuevos conocimientos o circunstancias en el sistema.
- El desarrollo del *sistema experto* implica mucho tiempo y coste.
- Los usuarios de un *sistema experto* pueden estar poco dispuestos a utilizarlos, ya que se sienten incómodos en traspasar sus conocimientos a una máquina.

