

CAPITULO 1:

TEORIA DE SISTEMAS EXPERTOS

1.1 INTRODUCCION A LOS SISTEMAS EXPERTOS

1.1.1. INTELIGENCIA ARTIFICIAL

1.1.2.

Como se ha visto en la Introducción de la Tesis al hablar de Sistemas Expertos estamos hablando de uno de los campos de la Inteligencia Artificial, por lo tanto antes de seguir con los conceptos y características de un Sistema Experto veremos una introducción a la Inteligencia Artificial (**IA**), que conceptos y técnicas maneja así como a la aparición de los primeros Sistemas Expertos.

Desde que se inventaron los primeros ordenadores, ha aparecido una pregunta fundamental, ¿pueden pensar realmente?, ¿llegarán a ser verdaderamente inteligentes?. Primeramente aparece implícita otra pregunta; *¿Cuál es la naturaleza de la inteligencia?*.

Un factor que demuestra cierto nivel de inteligencia es la capacidad de aprender, este aprendizaje se realiza de diferentes maneras en los programas de Inteligencia Artificial. Una condición de este aprendizaje es la retroalimentación¹ o feed back donde recibe información sobre sus logros o fracasos. La primera máquina capaz de aprender fue una tortuga construida en 1948 por Grey Walter, su tortuga era una media esfera que se arrastraba por el suelo abriéndose paso entre obstáculos y se iba a la cama cuando se

¹ *Retroalimentación: es un medio por el cual el proceso en ejecución puede ser corregido, esto es, que siempre se tratará de obtener el resultado óptimo del proceso.*

quedaba sin pilas. La tortuga aprendía el camino usando feedback negativo, tendía a no repetir un comportamiento que no fuera productivo, una tortuga que choca contra la pared repetidamente no llegara muy lejos.

El siguiente factor que se considera como rasgo de cierto tipo de inteligencia es la capacidad de razonamiento. El proceso de decisiones de un ordenador se basa en su mayoría en un conjunto de sentencias condicionales (if-then) y trabaja con silogismos.

Por último, la comprensión del lenguaje natural por parte de los ordenadores, brecha muy difícil de traspasar es también un factor que demuestra cierta inteligencia. Programas como Eliza, Shrldu han sido pioneros en esta área, donde Eliza es un tutor psiquiátrico y Shrldu un robot que manipula bloques en respuesta a unas ordenes. Aún así la comprensión del lenguaje natural presenta una barrera muy difícil de pasar, debido a la gran variedad de palabras y la gran variedad de combinaciones que existen.

Según una definición dada por Marvin Minski (1977), la IA es *“el arte de construir máquinas capaces de hacer cosas que requerirían inteligencia en caso de que fuesen hechas por los seres humanos”* [Grupo Marcombo, 1987].

Otra definición clásica de I.A indica que es la parte de las Ciencias de la Computación que se ocupa de diseñar sistemas informáticos que presenten las características que se asocian con inteligencia en el comportamiento humano: comprensión del lenguaje, aprendizaje, razonamiento, resolución de problemas, etc... (Bart, Feigenbaum, 81) [Grupo Marcombo, 1987]. Más recientemente se ha definido la I.A como el estudio de sistemas inteligentes mediante la experimentación con máquinas artificiales (de Callatay, 91) [Grupo Marcomb , 1987]. Para M. Alfonseca, profesor de Ingeniería Informática de la UAM, una definición sería *“proceso de información simbólica por medios heurísticos”*.

[www.adi_uam.es/~adarraga/lozano/sevenweb.htm, Adarraga 1995].

La IA como tecnología es muy reciente, aunque como concepto es antiquísima, el primer paso fue dado mucho tiempo atrás por Aristóteles, cuando comenzó a explicar y a codificar ciertos estilos de razonamiento deductivo que él llamó *Silogismos*. La historia de la humanidad está plagada de referencias a artilugios mecánicos contruidos con la intención de simular la inteligencia habitual en un ser humano: autómatas, robots, máquinas parlantes.

No es hasta que se produce el desarrollo de la electrónica cuando se comienzan a construir máquinas que realizan muchas tareas características de criaturas inteligentes. Estas máquinas son los ordenadores. Por ello, la historia de la IA está ligada a la historia de la Computación.

Fue John McCarthy la persona que en 1955 acuñó el término *Inteligencia Artificial* para englobar todas las actividades encaminadas a la construcción de sistemas inteligentes, aunque él mismo ha opinado que sería mejor utilizar el término *Inteligencia Mecánica* debido a la mala interpretación que puede hacerse de su significado: opina McCarthy que la finalidad de la I.A. es resolver problemas que requieren inteligencia, pero sin obligación de utilizar los mismos mecanismos.

A partir de la reunión denominada *Darmouth Summer Research Project on Artificial Intelligence*, que McCarthy convocó en 1956 en el Darmouth College, se configura la I.A. como una rama de las Ciencias de la Computación con su vida propia, aglutinando un buen número de actividades (robótica, comprensión del lenguaje natural, visión artificial, aprendizaje, programación automática, razonamiento, planificación, resolución de problemas) y con dos filosofías distintas:

<p>McCarthy y Minsky en el MIT (Massachussets Institute of Technology) que pretenden la construcción de máquinas inteligentes, esto es, sistemas cuyo comportamiento sea tal que si lo llevase a cabo una persona sería considerado inteligente.</p>	<p>Newell y Simon en la Carnegie Melon University, dedicados a estudiar los modelos de comportamiento humano para construir sistemas inteligentes por emulación del cerebro humano, incluso en su estructura.</p>
---	--

Ambas tendencias han estado vigentes, con mayor o menor fuerza, a lo largo de toda la historia de la I.A. La siguiente tabla muestra la evolución histórica de la I.A. en los últimos 40 años.

DECADA	NOMBRE	TEMA PRINCIPAL DE INVESTIGACIÓN
50-60	La edad oscura	Redes Neuronales
60-70	La edad de la razón	Lógica automática
70-80	El movimiento romántico	Ingeniería del Conocimiento
80-90	La ilustración	Aprendizaje automático
90-	El renacimiento gótico	Redes neuronales

Tabla 1 : Historia de la IA

Se observa que la primera tendencia en I.A. fue imitar el comportamiento del cerebro humano, a través de las redes neuronales, pero debió ser abandonada por dos motivos:

- i) la tecnología informática de la época no era suficientemente buena como para poder implementar las *redes neuronales*
- ii) la estructura y funcionamiento del cerebro se conocían de forma imperfecta.

Al no resultar viable la construcción de cerebros artificiales, la I.A. continuó por la línea de intentar resolver problemas humanos, en términos de almacenar, comparar y manipular símbolos, tratando a hombres y máquinas como procesadores de información que utilizan la lógica como mecanismo de razonamiento. Los resultados obtenidos hasta ese momento no fueron espectaculares, lo que llevó a los investigadores a abandonar el objetivo de la solución general de problemas.

En el año 1950 Alan Turing publicó un trabajo titulado "Inteligencia y Funcionamiento de las Máquinas" con el fin de demostrar hasta que punto estas tienen inteligencia. Más tarde en 1965 se empezaron a utilizar técnicas para la resolución de problemas que se caracterizaban por la búsqueda heurística como modelo para la resolución de problemas, y con ellas comenzó la investigación y desarrollo de los sistemas expertos.

Se observó que los expertos humanos tienen un restringido dominio de experiencias y se comenzó el desarrollo de sistemas que presentasen comportamientos inteligentes en dominios muy limitados; como consecuencia de esta tendencia se produjo un notable desarrollo de *Sistemas Expertos* en diversos campos del saber humano: química, medicina, geología, derecho, etc.

La proliferación de sistemas expertos motivó que comenzase la investigación acerca de cómo hacer que estos sistemas que mostraban inteligencia en su comportamiento fuesen, además, capaces de aprender utilizando la *retroalimentación*.

Por último, los avances tecnológicos en Informática y los avances conseguidos en el conocimiento del cerebro han provocado que resurjan con fuerza las redes neuronales en los laboratorios de investigación sobre la I.A. en todo el mundo. El trabajo sobre redes neuronales, junto con el trabajo en temas de vida artificial, ha ayudado a focalizar la investigación actual en IA sobre los problemas relacionados con la conexión entre procesos simbólicos y los sensores y efectores de los robots inmersos en un entorno físico.

Como resumen, se puede indicar que los intereses de la I.A., en sus distintos aspectos, son los siguientes:

Estudios teóricos : Aprendizaje automático y modelos de aprendizaje en redes neuronales

Aplicaciones : Sistemas Expertos

En 1992 terminó el proyecto de 5^{ta} Generación japonés con objetivos que no se llegaron a alcanzar: Traducción automática sin restricciones, comprensión del habla aplicada, sistemas de comprensión de imágenes y motores de inferencia de propósito general altamente paralelos.

Se ha presentado ya el proyecto de 6^a Generación. Este Proyecto va a requerir avances en: psicología, fisiología, lingüística y lógica, para conseguir sus objetivos: traducción automática, robots automáticos inteligentes, sistemas expertos de tiempo real y razonamiento analógico cualitativo. Se incluyen dos proyectos concretos: automóviles, autónomos y teléfonos traductores.

Como se puede ver, la filosofía que fundamenta la I.A. no es nueva. La razón de que sea muy recientemente cuando se ha comenzado a hablar de ella es que hasta hace poco tiempo la tecnología utilizada para la construcción de ordenadores no era lo suficientemente buena como para proporcionar la capacidad que requieren los sistemas de I.A. Sin embargo, con la aparición de los ordenadores cada vez más potentes, empieza a parecer posible el sueño de que la Informática sea la Ciencia del tratamiento automático, no sólo de la información, sino también del conocimiento.

1.1.2 SISTEMAS EXPERTOS

Los Sistemas Expertos son programas que aplican los conceptos de la inteligencia artificial y a ellos nos dedicaremos más profundamente. Es la pieza comercial y la que más aplicación se le ha dado en Inteligencia artificial.

La idea básica de estos programas es capturar en un ordenador la experiencia de una persona experta en un área determinada del conocimiento, de tal modo que una persona no experta pueda aprovechar esta información. Es por ello que se crearon sistemas expertos que basándose en algunas reglas de acción (silogismos) y el análisis de posibilidades nos dan una ayuda muy útil en todas las ramas de la acción humana. De este modo se crearon sistemas expertos para las tareas genéricas: es decir para la monitorización y el diagnóstico, además de los trabajos de simulación de la realidad.

Las posibilidades de estos programas, aunque tiene sus limitaciones propias (al ser un especialista en tan sólo un área pero un completo idiota en casi todas las otras ramas del pensamiento humano y al ser sistemas basados en reglas fijas, donde se pierden algunas veces la creatividad y el sentido común) son inmensas; y se les está usando en gran medida para la monitorización y diagnóstico: como en plantas de energía, grandes industrias, cohetes, control del tráfico aéreo, búsqueda de yacimientos petrolíferos y hasta hospitales.

Otra de las ventajas de los Sistemas Expertos es que estos pueden en cierto punto manipular las reglas que se le han dado y sacar conclusiones a partir de ellas. En otras palabras puede descubrir nuevas posibilidades y guardarlas en su base de datos. Los mecanismos de manipulación y deducción son, hasta cierto punto, independientes de la base de datos.

Una interrogante que surge al construir Sistemas Expertos es *¿cómo sabremos cuando tengamos éxito al construir un programa inteligente?* . La respuesta es cuando la combinación de Software y Hardware nos de como resultado el que personas normales en nuestra sociedad no puedan determinar si quien ha estado respondiendo a sus preguntas es un ser humano o una computadora, entonces podremos decir que hemos logrado el objetivo de construir un programa inteligente.

El programa al que se atribuye el mérito de ser el primero que demostró la importancia de recoger grandes cantidades de conocimiento específico del dominio fue DENDRAL (1980). Después se desarrollaron otros sistemas expertos, incluyendo sistemas para diagnóstico médico (1976,1982), sistemas para configurar ordenadores (1982) y sistemas para valorar posibles yacimientos de minerales (1979,1982).

Al ir progresando los sistemas expertos, las bases de conocimiento en los que estos sistemas trabajan han ido creciendo. Entonces nos preguntamos: ¿Sería posible que un Sistema experto exhiba inteligencia general y pasar el test de Touring?, propuesto por Alan Touring en 1950.

¿Seria posible pasar las tres restricciones básicas de todo sistema experto?

Para que esto sea posible debe:

- Solucionar un problema que tome a un humano entre 5 min. y 5 horas: Esta restricción sería pasada con técnicas declarativas y un mejoramiento de la tecnología computacional. No hay nada malo en resolver los problemas en forma declarativa, sino que nos parece que no vale la pena el esfuerzo. Aun cuando el hardware y el control del razonamiento mejoren sustancialmente, sería necesario demasiado tiempo computacional para solucionar estos problemas.
- Experiencia existente: Esto seguramente es imposible de concretar porque cada ser humano se especializa en algún tema y es imposible reunir todo eso en una maquina. Pero, el programa no necesita ser un mago de wall street para realizar el test de Touring, por lo que se puede educar a la máquina hasta cierto punto en cada tema.
- Dominio restringido: En esta parte es que los ES no tienen escapatoria. La gente es increíblemente buena en los dominios del sentido común que dependen de un conocimiento global del mundo. Y es aquí donde la tecnología del AI no pueden comportarse de igual manera, al no poder retener las ideas como un todo. Los sistemas expertos no tienen ni idea cuando los límites de sus conocimientos han sido alcanzados. Por ejemplo el MYCIN si es consultado para diagnosticar a una rana, no

sabría la diferencia entre una rana y un humano y seguramente le preguntaría si tiene dolor de estómago y la presión de su sangre.

Aunque para nosotros esto es imposible, al ser el sentido común inmensamente incalculable, muchos como el doctor Feigenbaum piensan lo contrario, y sostienen que la inteligencia es solo cuestión de ingeniería. Es por eso que están construyendo proyectos VLKB - "very large knowledge base" (Bases de Conocimientos muy grandes) para generar comportamiento inteligente.

1.2 DEFINICION Y CARACTERISTICAS

No resulta fácil dar una definición de Sistema Experto, entre otras cosas, porque el concepto de Sistema Experto va evolucionando, ya que, a medida que se va progresando, sus funciones se van ampliando y resulta un concepto cambiante. Hace ya bastantes años, Edward Feigenbaum, de la Universidad de Stanford definió, en el Congreso Mundial de IA, un Sistema Experto como: *"Un programa de computador inteligente que usa el 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"*.

Hoy, con los avances conseguidos, resultaría más correcto definir un Sistema Experto como: *"Un sistema informático que simula el proceso de aprendizaje, de memorización, de razonamiento, de comunicación y de acción de un experto humano en una determinada rama de la ciencia o campo, suministrando, de esta forma, un consultor que puede sustituirle con unas ciertas garantías de éxito"*.

[<http://www.ciberconta.unizar.es/LECCION/sistexpat/sisexp.htm>, Ricardo Zapata, 1998]

Para esto, se debe tener en cuenta que la principal característica del experto humano viene a ser el conocimiento o habilidades profundas en ese campo concreto, por consiguiente, un Sistema Experto debe ser capaz de representar este conocimiento profundo con el objetivo de utilizarlo para resolver problemas, justificar su comportamiento e incorporar nuevos conocimientos. Se podría incluir también el hecho de poder comunicarse en lenguaje natural con las personas, si bien esta capacidad no es tan determinante como las anteriores de lo que se puede definir como Sistema Experto.

Los programas convencionales utilizan datos exactos lo que es una indudable ventaja de las computadoras. Esta clase de datos se denomina *conocimiento factual o preciso*.

Los humanos usamos una mezcla de ese conocimiento factual y de *conocimiento heurístico* (o sea la intuición lógica), que es una indisputable ventaja de los humanos.

Los sistemas expertos tratan de emular ese conocimiento heurístico, lo que los hace superiores a los programas convencionales ya que pueden tratar con datos "inciertos", o sea no precisos.

CARACTERISTICAS

Este software, capaz de realizar una tarea experta (clasificación, diagnóstico, concepción, planificación...) con realizaciones iguales a la de los mejores especialistas, posee ciertas características fundamentales:

- ◆ ***La base de conocimiento (parte especializada) es independiente del motor de inferencia que utiliza el conocimiento de esta base.***

Decir que existe una separación muy clara entre el conocimiento y el mecanismo de razonamiento, significa que no interviene ningún conocimiento especializado en la concepción del motor de inferencia y en todo lo concerniente a la base de conocimiento:

- *Que los elementos que la constituyen son independientes los unos de los otros.*
Propiedad esencial de granularidad o modularidad del conocimiento.
 - *Que el orden en el cual se introducen los elementos en el sistema no tiene ninguna influencia en los resultados*
 - La modificación de uno de estos elementos no tiene consecuencias catastróficas sobre el desarrollo del programa. No cambia más que las conclusiones de los razonamientos en las que el elemento interviene.
-
- ◆ ***Capacidad de inferencia deductiva:*** Esto significa que los agentes no solo eran capaces de recuperar información almacenada en la base de datos sino hacer deducciones usando la información para hacer deducciones que produzcan nuevas informaciones para la base de datos.
 - ◆ ***Crecimiento dinámico:*** Porque los datos y las reglas están sujetas a constante revisión. Es decir es fácil borrar o modificar los datos y las reglas que hacen las decisiones.
 - ◆ ***La base de conocimiento tiene, en principio, un volumen muy grande,*** y los SE deben ser capaces de organizarla y de poder tratar conocimientos inciertos o incompletos.
 - ◆ ***Tienen un carácter declarativo.*** El programa se escribe bajo la forma de un conjunto de especificaciones, independientes unas de otras (elementos de conocimiento), que se ponen en acción dinámicamente por un procedimiento de resolución que es independiente de la naturaleza del conocimiento (motor de inferencia)
 - ◆ ***Son capaces de dar explicaciones*** relativas a los razonamientos que efectúan hasta llegar a una conclusión. Estas explicaciones deben, no solamente ser expresadas en el *lenguaje del experto*, sino corresponderse, también, con un *comportamiento que*

le parezca “natural” al experto.

Estos dos puntos son fundamentales, ya que permiten al experto corregir, enriquecer y validar el sistema.

En la medida de lo posible, hace falta que ese *conocimiento, que procede del experto*, pueda ser realizado en un lenguaje que le sea familiar y que la expresión del conocimiento no prejuzgue en nada la forma en la que debe de utilizarse

Es necesario, igualmente, que el razonamiento seguido por el SE se corresponda con el efectuado por el experto.

- ◆ ***El conocimiento manipulado es esencialmente de naturaleza simbólica***, en oposición a los datos numéricos utilizados por los programas clásicos; esto no quiere decir que se excluya, en absoluto, el tratamiento de las informaciones numéricas.
- ◆ ***Colección integrada de Conocimiento***: Los agentes que constituyen el sistema pueden representar los juicios de muchos expertos en varias partes del globo. Estas experiencias son guardadas en un solo lugar por lo que es posible su utilización luego por expertos o no expertos también. Sin embargo, la real utilidad de este sistema es que permite un constante intercambio de datos y juicios de líderes expertos, y esto permite la formación de nuevas reglas e ideas acerca del tema.
- ◆ Utilizan esencialmente métodos empíricos (saber, hacer, experiencia...) que se apoyan en un conocimiento heurístico y que permiten encontrar la mejor solución (teniendo en cuenta el estado de conocimiento sobre el dominio considerado) y no la solución óptima.

Las realizaciones de este software se parecen, pues, de hecho, a las de los expertos del dominio.

- ◆ Por último, los SE son bastante específicos en su campo de acción

Al ser estas características muy numerosas, podemos decir que son raros los SE que cumplen todos estos requisitos. Sin embargo esta relación sirve para centrar la noción de SE, mediante el examen de los SE teóricamente perfectos.

1.3 RAZONES PARA UTILIZAR UN SISTEMA EXPERTO

A continuación se muestran las Diferencias entre el experto humano y el experto artificial lo que a simple vista nos dá una idea de porque se debe utilizar un Experto artificial.

EXPERTO HUMANO	EXPERTO ARTIFICIAL
NO PERDURABLE	PERMANENTE
DIFICIL DE TRANSFERIR	FACIL
DIFICIL DE DOCUMENTAR	FACIL
IMPREDECIBLE	CONSISTENTE
CARO	ALCANZABLE
CREATIVO	NO INSPIRADO
ADAPTATIVO	NECESITA SER ENSEÑADO
EXPERIENCIA PERSONAL	ENTRADA SIMBÓLICA
ENFOQUE AMPLIO	ENFOQUE CERRADO
CONOCIMIENTO DEL SENTIDO COMUN	CONOCIMIENTO TECNICO

Tabla 2 : Diferencias entre Experto humano y artificial

En una situación ideal, un sistema experto es tal que se comporta en la misma forma que lo haría un experto humano sobre lo que se ha construido el sistema, presentando ciertas ventajas respecto al humano. La potencia de un Sistema Experto se basa más en una gran cantidad de conocimientos que en un formalismo deductivo muy eficaz. La idea que se persigue cuando se construye un Sistema Experto es la de automatizar la labor del experto, partiendo en ocasiones de información insuficiente o incompleta.

Teniendo esto en cuenta, se puede pensar que un sistema experto no es un sistema pensado para reemplazar al experto humano sino un sistema pensando para ayudar al experto humano en la toma de decisiones y además supone una descarga del experto en el trabajo rutinario y, por lo tanto, la reducción de sus problemas. Entonces los Sistemas Expertos ofrecen ayuda para:

- Evitar fallos en labores rutinarias complejas
- Ampliar de forma más rápida los conocimientos de los especialistas
- Diagnosticar fallos con mayor rapidez
- Conseguir tareas de planificación más completas y consistentes.

Los Sistemas Expertos han demostrado ser herramientas muy útiles en gran cantidad de situaciones. En las últimas décadas, se han desarrollado un gran número de Sistemas Expertos en diferentes áreas del conocimiento: Medicina, Geología, Química, Economía, Ingeniería Civil, etc.

Las ventajas o razones que suponen el uso de un Sistema Experto han motivado el enorme crecimiento de este campo. Algunas de estas ventajas se exponen en la continuación:

- Con la ayuda de un Sistema Experto, personas con poca experiencia pueden resolver problemas que requieren un "conocimiento especializado". De esta forma, se incrementa el número de personas con acceso a un conocimiento experto.
- Los Sistemas Expertos pueden obtener conclusiones y resolver problemas de forma más rápida que los expertos humanos. Por tanto, los Sistemas Expertos son de gran valor en las situaciones donde el tiempo juega un papel crítico (control de la refrigeración de una central nuclear, etc).

- Los Sistemas Expertos razonan en base a conocimientos adquiridos y no tienen sitio para la subjetividad: siempre obtienen la misma respuesta a partir de los mismos datos.
- En algunos casos, la complejidad de un problema hace que un experto humano no pueda obtener una conclusión. Debido a la capacidad de los ordenadores de procesar una gran cantidad de información, y de realizar un gran número de operaciones en poco tiempo, los Sistemas Expertos pueden obtener conclusiones realistas en situaciones donde los expertos humanos no pueden.
- El uso de Sistemas Expertos es especialmente recomendado en las siguientes situaciones:
 - Cuando los expertos humanos en una determinada materia son escasos, los Sistemas Expertos pueden recoger y difundir su conocimiento.
 - En situaciones complejas, donde la subjetividad humana puede llevar a conclusiones erróneas.
 - Cuando sea muy elevado el volumen de datos que ha de considerarse para obtener una conclusión.
 - En situaciones deterministas, en las que las conclusiones se obtienen aplicando un conjunto de reglas dado.

Algunos sistemas expertos, entre ellos los sistemas tradicionales, suministran contestaciones en términos de medidas fiables; propagando a través del programa grados de certidumbre asociados a partes de información.

Otra razón es la de la explicación de las soluciones obtenidas, ya que en cuanto a la forma de utilización de un sistema experto, se debe producir una comunicación entre el usuario y el sistema de forma que el usuario reclama al sistema soluciones a problemas mientras que el sistema reclama al usuario datos para poder encontrar soluciones. Además,

el sistema no se debe limitar a proponer soluciones, sino que debe poder mostrar cómo ha llegado a la solución y dar respuestas a preguntas del tipo *¿Qué pasaría si...?*

1.4 ARQUITECTURA

La estructura de un SE está organizada alrededor de tres elementos principales.

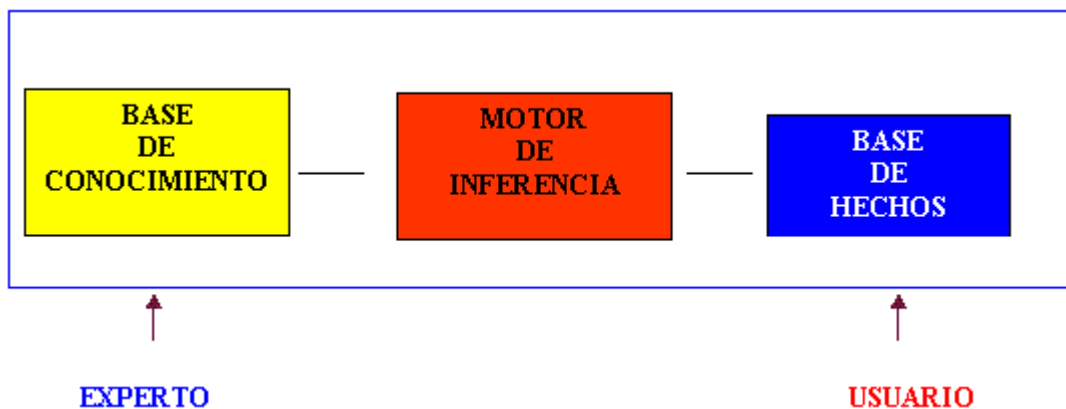


Figura 1 : Arquitectura Básica de un Sistema Experto

BASE DE CONOCIMIENTOS:

Es una estructura de datos que contiene una gran cantidad de información sobre un tema específico, generalmente introducida por un experto en dicho tema (se puede asociar a una memoria permanente), sobre el cual se desarrolla la aplicación.

Este conocimiento lo constituye la descripción de:

- Objetos a tener en cuenta y sus relaciones
- Casos particulares o excepciones y diferentes estrategias de resolución con sus condiciones de aplicación (meta-conocimiento, es decir, conocimiento sobre el conocimiento)

BASE DE HECHOS:

Es una memoria auxiliar que contiene a la vez los datos sobre la situación concreta en la cual se va a realizar la aplicación (hechos iniciales que describen el enunciado del problema a resolver) y los resultados intermedios obtenidos a lo largo del procedimiento de deducción.

Esta base (memoria temporal) no se conserva (salvo por necesidades del usuario) y depende exclusivamente de la situación estudiada.

MOTOR DE INFERENCIA:

Es el núcleo del SE, ya que ponen en acción los elementos de la base de conocimientos para construir los razonamientos.

Ejecuta las inferencias (deducciones) en el curso del proceso de resolución, bien sea por modificación, bien por adjunción de los elementos de la base de hechos.

Frente a una situación dada, detecta los conocimientos que interesan, los utiliza, los encadena, y construye un plan de resolución independiente del dominio y especificidad del caso tratado.

Aunque el motor de inferencia, sea un programa procedimental –en el sentido habitual del término- la forma en que utiliza el conocimiento nunca está prevista por el programador.

Las categorías de Mecanismos de Inferencia son:

Determinismo: Lo inferido es una verdad universal. Por ej: el Químico dice con certeza que si un átomo tiene dos electrones, entonces es un átomo de Helio.

Probabilístico: Son predicciones o probabilidades que no siempre son ciertas (se elige la probabilidad de mayor valor). Por ej: las respuestas a la prevención de abandonos de los cursos de bachillerato, dadas por un sociólogo son tan sólo probabilidades, que pueden o no ser acertadas.

Además de estos tres elementos, se incluyen módulos de interfase, indispensables para asegurar el diálogo entre el hombre y la máquina

INTERFACE DE USUARIO

También denominado Sistema de Consulta. Es el que gobierna el diálogo entre el usuario y el sistema. Su objetivo es el de permitir un diálogo en un lenguaje cuasi-natural con la máquina. Además, este módulo “traduce” el español (o cualquier otra lengua) al lenguaje interno y viceversa.

Esta interfase comunica al motor de inferencia las consultas del usuario y a este último los resultados de la consulta. Y a la inversa. Permite, igualmente obtener el enunciado del problema inicial y los objetivos a alcanzar así como la consulta a la base de conocimiento.

MODULO DE EXPLICACIONES

Permite trazar el camino tomado en el razonamiento (inferencias efectuadas). Este módulo aporta una ayuda considerable al informático para refinar la gestión del motor de inferencia y le es igualmente útil al experto, en la construcción y verificación de la coherencia de la base de conocimiento y explica, también, al usuario, cómo ha deducido tal hecho y por qué plantea tal cuestión.

MÓDULO DE ADQUISICIÓN DEL CONOCIMIENTO

El conocimiento puede introducirse por el experto o por el ingeniero de conocimiento (en este caso el módulo puede contener funciones de interfase con el usuario) o provenir directamente de sensores, bases de datos, otros software...

Debe, pues, recibir el conocimiento, verificar la verosimilitud de éste, organizar la coherencia de la base de conocimientos y transformar los datos en conocimientos incorporados al sistema.

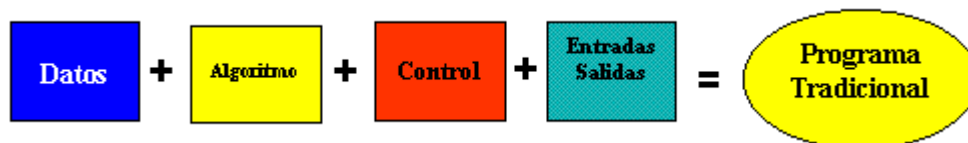
Estos módulos no tienen ninguna influencia sobre el valor de los razonamientos del SE, pero juegan, sin embargo, un papel indispensable en la rendición de cuentas, que es accesible a los usuarios.

Si bien estos módulos no existen en todos los SE, o están organizados de diferentes formas, la función que realizan son de todo punto indispensable en estos sistemas.

La unión del motor de inferencia y de los interfases, forma lo que se denomina "sistema esencial" o más sencillamente: una herramienta software de ayuda al desarrollo de los SE. Basta administrarle una experiencia específica para hacerle competente en un dominio cualquiera. De hecho, la constitución de la base de conocimiento sigue siendo, a pesar de ello, larga y delicada, puesto que es necesario extraer el conocimiento del experto y transferirlo al SE. Este proceso constituye de por sí un nuevo dominio de investigación independiente, la *cognimática*. A las personas que realizan este proceso se les denomina *cognimáticos* o *ingenieros de conocimiento*.

Una Comparación entre un sistema experto y un programa tradicional sería la siguiente :

Un **programa tradicional** puede esquematizarse de la siguiente manera:



Mientras que un **sistema experto** estaría definido de la siguiente forma:



Del esquema se desprende que la **base de hechos** es en un sistema experto, lo que los **datos** son en un programa tradicional.

De la misma manera la **base de conocimientos** reemplaza al **algoritmo** y el **motor de inferencia** es el **programa**.

ADQUISICIÓN
DE
CONOCIMIENTO

REPRESENTACIÓN
DEL

TRATAMIENTO
DEL
CONOCIMIENTO

UTILIZACIÓN
DEL
CONOCIMIENTO

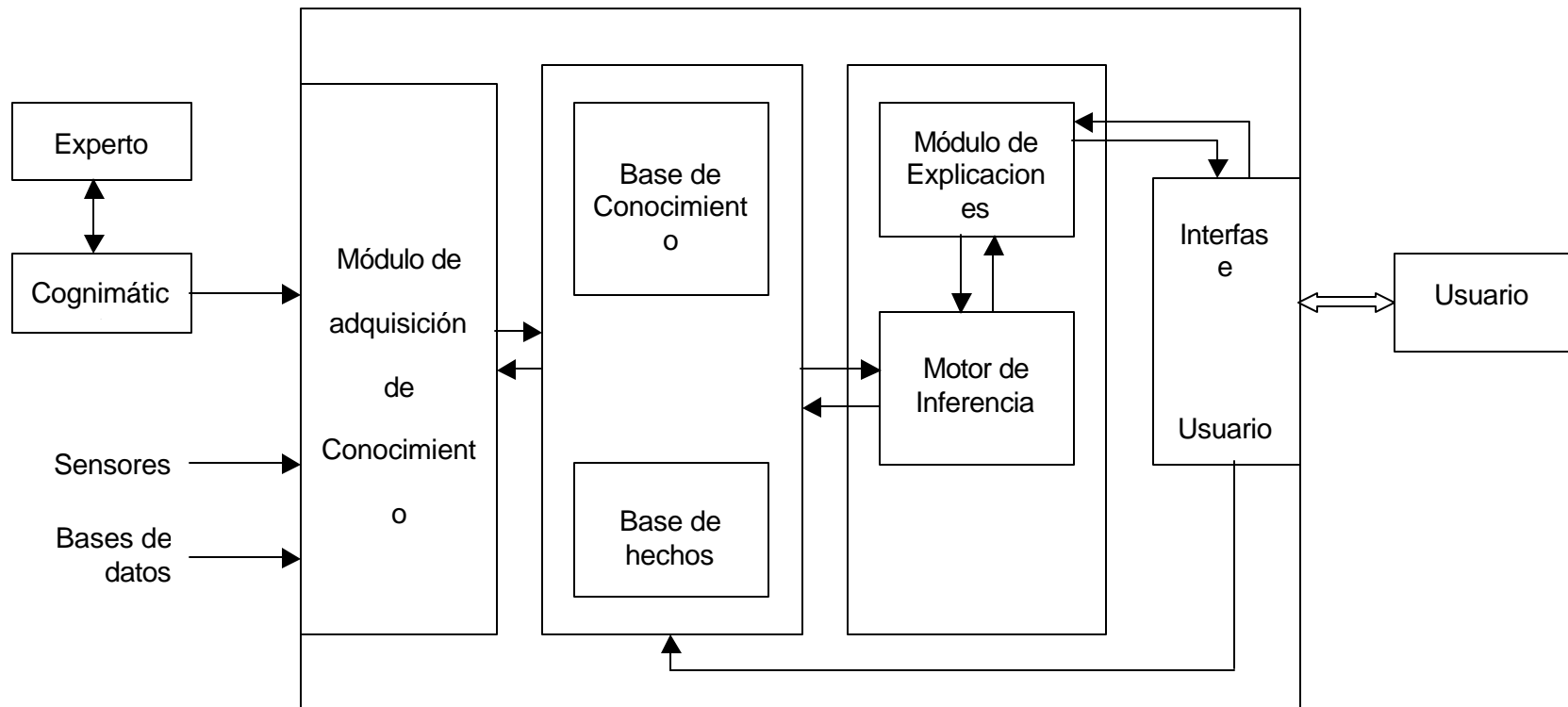


Figura 2. Arquitectura completa de un Sistema Experto

1.5 TIPOS DE SISTEMAS EXPERTOS

Entre los tipos más importantes de Sistemas Expertos, los basados en reglas, y los basados en probabilidad han sido los más estudiados y difundidos. Los Sistemas Expertos basados en reglas se definen a partir de un conjunto de objetos, que representen las variables del modelo considerado, ligadas mediante un conjunto de reglas, que representarán las relaciones entre las variables.

En cambio, la estructura de los Sistemas Expertos probabilísticos es más abstracta para la lógica humana. La base del conocimiento de estos sistemas la compone un espacio probabilístico, y su motor de inferencia, a través de diversos métodos de cálculo de probabilidades condicionadas calcula la probabilidad de los sucesos aplicando diversas hipótesis de independencia.

También se clasifica a los tipos de Sistemas Expertos de acuerdo a la función que realizan, estos pueden ser de:

- **INTERPRETACION** : infieren la descripción de situaciones por medio de sensores de datos. Estos S.E. usan datos reales, con errores, con ruidos, incompletos etc. Ejemplos: medición de temperatura, reconocimiento de voz, análisis de señales etc.
- **PREDICCIÓN** : infieren probables consecuencias de situaciones dadas. Algunas veces usan modelos de simulación para generar situaciones que puedan ocurrir. Ejemplos: predecir daños a cosechas por algún tipo de insecto.
- **DIAGNOSTICO** : infieren las fallas de un sistema en base a los síntomas. Utilizan las características de comportamiento, descripción de situaciones o conocimiento sobre el diseño de un componente para inferir las causas de la falla. Ejemplos: diagnostico de enfermedades en base a síntomas, encontrar componentes defectuosos o fallas en circuitos.

- **DISEÑO:** configuración de objetos. Utilizan un conjunto de limitaciones y restricciones para configurar objetos. Utilizan un proceso de análisis para construir un diseño parcial y una simulación para verificar o probar las ideas. Ejemplos: configuración de equipos de oficina, de equipos de computo.
- **PLANEACION:** diseñan un curso completo de acción, se descompone la tarea en un subconjunto de tareas. Ejemplo: transferir material de un lugar a otro, comunicaciones, ruteo, planificación financiera.
- **MONITOREO:** comparan observaciones del comportamiento del sistema con el comportamiento standard, se compara lo actual con lo esperado. Ejemplo: asistir a un paciente de cuidados intensivos, trafico aéreo, uso fraudulento de tarjetas de créditos
- **DEPURACION:** (debugging) sugieren remedios o correcciones de una falla. Ejemplo: sugerir el tipo de mantenimiento a cables dañados, la prescripción medica a un paciente.
- **REPARACION:** sigue un plan para administrar un remedio prescrito. Poco se ha hecho, requiere planeación, revisión y diagnostico.
- **INSTRUCCION:** diagnostican, revisan y reparan el comportamiento de un estudiante. Ejemplo: educar a un estudiante de medicina, usa un modelo del estudiante y planea la corrección de deficiencias.
- **CONTROL:** gobierna el comportamiento del sistema. Requieren interpretar una situación actual, predecir el futuro, diagnosticar las causas de los problemas que se pueden anticipar, formular un plan para remediar estas fallas y monitorear la ejecución de este.

1.6 APLICACIONES

La aplicación de Sistemas Expertos será adecuada allí donde los expertos dispongan de conocimientos complejos en un área estrechamente delimitada, donde no existan algoritmos elaborados (o donde los existentes no puedan solucionar algún problema) y no existan teorías completas.

Otro campo de aplicación es allí donde hay teorías, pero resulta prácticamente imposible analizar todos los casos teóricamente imaginables mediante algoritmos y en un espacio de tiempo razonable.

En estas situaciones hace falta el conocimiento que el experto ha adquirido por experiencia, para llegar a una solución en un espacio de tiempo aceptable.

Los dos tipos de problemas descritos se caracterizan además por el hecho de que, aunque es posible la existencia de una o más soluciones, la vía de soluciones no está previamente fijada. Sin embargo, el experto encuentra una solución al problema gracias a la información que posee del problema y a su experiencia. Mientras esta solución sea susceptible de repetición y el planteamiento del problema sea claro, existe un razonamiento que puede ser reproducido por un Sistema Experto.

Debido a que la estructuración y la implementación del conocimiento del experto requiere una gran cantidad de trabajo, solo valdrá la pena el esfuerzo de crear un sistema experto cuando un conocimiento sea válido durante un largo espacio de tiempo y vaya a ser utilizado por el mayor número posible de personas.

Según la clase de problemas hacia los que estén orientados, podemos clasificar los Sistemas Expertos en diversos tipos entre los que cabe destacar diagnóstico, pronóstico,

planificación, reparación e instrucción; vamos a ver algunas de las aplicaciones existentes (o en periodo de desarrollo) para cada uno de los campos citados.

- ◆ *Los sistemas de diagnosis* siguen un proceso de búsqueda de las razones del funcionamiento incorrecto de un sistema a partir de la información disponible. Aquí se podrían tener en cuenta tanto aplicaciones de diagnóstico médico como de averías.

En lo referente al diagnóstico médico, existe una serie de aplicaciones extensa en número (FLUIDEX, EACH, TROPICAID, SPHINX, ...), pero quizá la más conocida, a la vez que la más antigua, podría ser MYCIN.

MYCIN es el primer Sistema Experto que llegó a funcionar con la misma calidad que un experto humano, dando a su vez explicaciones a los usuarios sobre su razonamiento. Antes del desarrollo de MYCIN (mediados de los 70), se criticaba a la Inteligencia Artificial por resolver únicamente problemas "de juguete", sin embargo, el éxito de MYCIN demostró que la tecnología de los Sistemas Expertos estaba suficientemente madura como para salir de los laboratorios y entrar en el mundo comercial. MYCIN es, en definitiva, un sistema de diagnóstico y prescripción en medicina, altamente especializado, diseñado para ayudar a los médicos a tratar con infecciones de meningitis (infección que produce inflamación de las membranas que envuelven al cerebro y la médula espinal) y bacteriana (infección que implica la presencia de bacterias en la sangre). Dichas infecciones pueden ser fatales y a menudo aparecen durante la hospitalización. El problema se complica por la necesidad de actuar con rapidez.

Existen además en este campo Sistemas Expertos como TROPICAID, que permiten obtener información adicional sobre los medicamentos más usados. TROPICAID selecciona un conjunto de posibles diagnósticos a partir del análisis del cuadro médico, y propone un tratamiento óptimo para el caso concreto.

Por otra parte, el campo de la diagnosis abarca otras aplicaciones además de las médicas (si bien pueden ser estas últimas las más conocidas). En este caso se trata de

fallos, averías o anomalías que se producen generalmente en una máquina. Dentro de este apartado existen también numerosas aplicaciones. Tal es el caso del sistema TESP para la diagnosis de robots Puma

- ◆ **Los sistemas de pronóstico** deducen consecuencias posibles a partir de una situación. Su objetivo es determinar el curso del futuro en función de información sobre pasado y presente.

Esto abarca diversos problemas, tales como predicciones meteorológicas, predicciones demográficas, o incluso previsiones de la evolución bursátil entre otros. Quizá la aplicación más conocida sea PROSPECTOR, esto es un sistema para la evaluación de emplazamientos geológicos (con el que se encontró un yacimiento de mineral importante).

- ◆ Existen también **sistemas de planificación**, pudiéndose encontrar aplicaciones en este área, que establecen una secuencia de acciones a realizar encaminadas a la consecución de una serie de objetivos. En las empresas, la Inteligencia Artificial, que se encontraba confinada en la "sala de ordenadores", se va abriendo paso hacia la junta directiva. La razón de esto es simple: a medida que el mundo empresarial se complica y se llega a la competencia internacional, el conocimiento se convierte en el factor profesional más importante para un ejecutivo. A la persona que esté planeando la estrategia a seguir por su empresa o que tome decisiones en producción, marketing, distribución o asignación de recursos, los Sistemas Expertos le pueden demostrar que se pueden tomar decisiones con más conocimiento, llevando a un aumento de ganancias así como a la obtención de beneficios importantes para la empresa, como el aumento de su capacidad.

La medida de la efectividad de las operaciones de planificación y control de una organización y su sensibilidad a los cambios, son elementos importantes en la buena dirección de la producción. Los planes y las decisiones en la producción se desarrollan y llevan a cabo en un mundo de representaciones simbólicas de hechos y conjeturas,

muchas de las cuales no están informatizadas y representan la experiencia y el conocimiento de expertos. En cada estadio de los procesos de planificación, decisión y control para las operaciones de producción, sea ésta automatizada o no, las personas expertas son las que asesoran, localizan los fallos y dirigen. Ellas son las que ayudan a interpretar la multitud de datos procedentes de los departamentos de diseño, de la planta de producción y de los representantes de los clientes, observan modelos procesables en dichos datos, prueban mentalmente, y con ordenadores, posibles líneas de acción, recomiendan las medidas que la gerencia debe tomar y ayudan luego a poner en marcha sistemas pensados para conseguir planificaciones mejores, operaciones más fluidas y una competencia más efectiva. Los Sistemas Expertos ofrecen procedimientos informatizados para perfeccionar la toma de decisiones de la gerencia por medio de la combinación del conocimiento que poseen los expertos acerca del tipo de acciones que tiene que efectuar y la forma y el tiempo en que debe llevarlas a cabo con la permanencia, lógica, memoria y velocidad de cálculo del ordenador. En tanto que muchos sistemas expertos se ocupan del razonamiento técnico más que del gerencial, la gerencia puede obtener ordenadores de mucha potencia, con grandes memorias, rápidos y programados para tratar problemas clave de forma efectiva en un área empresarial determinada. Hay una tendencia creciente a desarrollarlos y utilizarlos, sin embargo, los programas son caros y tienen que ser analizados con cuidado para determinar su contribución potencial al resultado final. Una de tales aplicaciones es el Palladian Operations Advisor (de Palladian Software, Inc., en Estados Unidos), diseñado específicamente para la dirección de la producción. Las entradas a este programa comprenden las designaciones de procesos y máquinas de fabricación de una planta, las especificaciones de productos y el flujo de producción, a partir de lo cual puede representar gráficamente la planta industrial y el flujo de cada tipo de productos. Con estas representaciones pueden organizarse y reorganizarse las operaciones de fabricación. El programa ayuda a la planificación y programación, asesorando en lo que se refiere a los programas que reducen el trabajo no deseable en niveles de proceso, ajustan el volumen de producción a la demanda de clientes y evalúan los cambios en las operaciones desde los puntos de vista económico y de producción. Puede crear una influencia recíproca con los planificadores y

directores de planta a medida que las condiciones cambian a diario o a cada hora, como consecuencia de averías mecánicas, modificaciones en los pedidos de los clientes o crisis en el exterior. El Palladian Operations Advisor puede analizar el estado de la combinación de productos para mantener la mayor eficacia y rentabilidad posible de las operaciones.

El éxito del directivo experto en la aplicación de sistemas como los citados en las plantas de fabricación, grandes o pequeñas, se mide por resultados tales como rendimientos mayores en la calidad de los productos, entregas a los clientes dentro de plazo, reducción de los retrasos en planta, reducción de costes procedentes de errores, mejor utilización de los materiales, mejor utilización del personal y mejora en las compras y reducción en los costes de material.

El diseño es también un tema de planificación. En este caso, a partir de una serie de requerimientos y restricciones, se obtiene el objeto que las satisface. En este campo, LABEIN (Laboratorio de Ensayos e Investigaciones Industriales, Centro de Investigación tutelado por el Gobierno Vasco), desarrolló un sistema inteligente para el diseño de motores eléctricos mediante la aplicación de las tecnologías clásicas de Sistemas Expertos a los sistemas de CAD/CAE de diseño y análisis. El problema que motivó este proyecto era que ciertos motores, de entre los eléctricos, son de uso frecuente en la industria exigiendo a la vez un diseño a medida de cada caso, por ello se creyó conveniente desarrollar una herramienta que asesorase o, incluso, dirigiera al operador.

- ◆ Otro tipo de *Sistemas Expertos son los orientados a la reparación*, sin embargo, no se puede decir que sea un tipo realmente nuevo, ya que este enfoque abarca diagnóstico y planificación. Dentro de este grupo se incluyen sistemas como DELTA, que ayuda a los mecánicos en el diagnóstico y reparación de locomotoras diesel-eléctricas. DELTA no solo da consejos expertos, sino que también presenta informaciones por medio de un reproductor de vídeo. De hecho se podría encasillar a DELTA más en el área de la instrucción que en reparación, dado que además proporciona ayudas al

trabajo que permiten al estudiante determinar si existe o no un determinado problema, proporcionando también formación específica sobre el modo de realizar ciertas reparaciones.

- ◆ ***Un sistema de instrucción*** (Sistema Experto para formación) realiza un seguimiento del proceso de aprendizaje de un estudiante. El sistema DELTA detecta errores de los estudiantes e identifica el remedio adecuado, es decir, desarrolla un plan de enseñanza para facilitar el proceso de aprendizaje y la corrección de errores.

Además de DELTA, existen numerosos sistemas de este tipo; STEAMER, por ejemplo, se creó para enseñar a los oficiales de la armada los problemas de funcionamiento de una planta de propulsión a vapor, como las que impulsan a ciertos barcos. Este era el problema de formación más importante que existía, dada la complejidad de los sistemas. El objetivo es dar al estudiante una concepción global de lo que pasa en la planta en cualquier momento, con la ventaja de que además el modelo de presentación es gráfico (utilizando Interlisp). Con un objetivo similar al de STEAMER, Construcciones Aeronáuticas S. A. (CASA) desarrolló el Proyecto Eolo CN-235. En este caso, el problema está en el hecho de que pilotar un avión que cuesta cientos de millones de pesetas es un asunto muy serio a la vez que peligroso, lo que exige mucho tiempo de entrenamiento, tanto para pilotos como mecánicos, suponiendo para las compañías aéreas un gran problema, dado el elevado coste de los cursos y la escasez de instructores. El proyecto surgió de la voluntad de Construcciones Aeronáuticas S. A. de ofrecer un curso específico para pilotos y técnicos de mantenimiento, a todos los compradores del avión CN- 235. Eolo CN-235 es un sistema de enseñanza interactivo que integra gráficos, texto y vídeo.

Otro sistema de este tipo, aunque en este caso orientado a medicina, es GUIDON, pensado para que lo utilicen las Facultades de Medicina para formar a los médicos en la realización de consultas. GUIDON viene a ser una reorganización de MYCIN con intenciones educativas, por esto, tiene la ventaja adicional de disponer de toda la base

de conocimientos de MYCIN además de la experiencia acumulada, por consiguiente, puede recuperar como ejemplo cualquier caso que MYCIN haya tratado.

- ◆ *Sistemas expertos también se aplican para la toma de decisiones.* Los sistemas expertos como una de las áreas de la inteligencia artificial son muy importantes para todos los que trabajan en la empresa en los diferentes niveles organizacionales.

Los sistemas expertos sirven para mejorar las actividades de la empresa como por ejemplo compras, control de inventarios, otorgación de créditos, control de procesos de producción, gestión financiera, configuración de software, y muchas más aplicaciones, que son inherentes a la formación del Ingeniero industrial.

Además de las áreas de aplicación ya citadas, existen otras como las relativas a los sistemas de interpretación, que realizan tareas de inferencia a partir de una serie de datos observables (p. ej. Análisis de imágenes, o bien interpretación de señal).

Como punto final se puede decir que el futuro de dichas aplicaciones pasa por la imaginación de cada uno, siempre que el área elegida requiera la presencia de un experto para la obtención de cualquier tipo de beneficio.

1.7 METODOLOGIA PARA LA CONTRUCCION DE UN SISTEMA EXPERTO

Para desarrollar sistemas expertos, debemos primero identificar y analizar el problema para poder saber si este problema es solucionable a partir de una serie de reglas y experiencias, y luego se tiene que idear algún modo de adquirir y modelar el conocimiento para por último reducirlo a nivel simbólico para poder educar así a la maquina.

Por supuesto que con este trabajo no intentamos de ningún modo explicarles todas las implicancias de este proceso, pero trataremos de darles una idea bastante sencilla de como esto se realiza.

Antes de detallar los pasos o fases a seguir en el desarrollo de un sistema experto veremos primero la composición del equipo de trabajo con el que se tiene que contar para el desarrollo de un Sistema Experto.

1.7.1 EQUIPO DE DESARROLLO DE UN SISTEMA EXPERTO

Las personas que participan en el desarrollo de un Sistema Experto desempeñan tres papeles distintos:

- **El experto:** que pone sus conocimientos especializados a disposición del Sistema Experto;
- **El ingeniero de Conocimientos:** que plantea las preguntas al experto, estructura sus conocimientos y los implementa en la base de conocimiento;
- **El usuario:** que aporta sus deseos y sus ideas, determinando especialmente el escenario en el que debe aplicarse el Sistema Experto.

En la fase de desarrollo, el peso principal de trabajo recae en el ingeniero del Conocimiento y en el Experto.

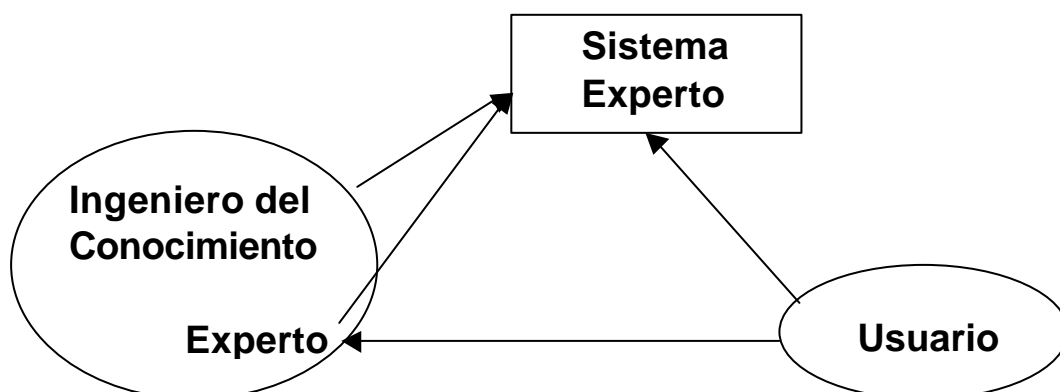


Figura 3. Relación entre los grupos que intervienen en el desarrollo.

En este desarrollo del Sistema Experto, el ingeniero de Conocimiento y el experto trabajan muy unidos. El primer paso consiste en elaborar los problemas que deben ser resueltos por el sistema. Precisamente en la primera fase de un proyecto es de vital importancia determinar correctamente el ámbito estrechamente delimitado de trabajo. Aquí se incluye ya el usuario posterior, o un representante del grupo de usuarios. Para la aceptación y en consecuencia para el éxito, es primordial tener en cuenta los deseos y las ideas del usuario.

Una vez delimitado el dominio, hay que alimentar el Sistema Experto poco a poco con los conocimientos del experto. El experto debe comprobar constantemente si sus conocimientos han sido transmitidos de la forma más conveniente. El Ingeniero del conocimiento es responsable de una implementación correcta, pero no de la exactitud del conocimiento. La responsabilidad de esta exactitud recae en el experto.

A ser posible, el experto deberá tener comprensión para los problemas que depara el procesamiento de datos. Ello facilitará mucho el trabajo. Además, no debe ignorarse nunca el usuario durante el desarrollo, para que al final se disponga de un sistema que le sea de máxima utilidad.

La estricta separación entre usuario, experto y Ingeniero de Conocimiento no deberá estar siempre presente. Pueden seguir situaciones en que el experto es también el usuario. Este es el caso cuando existe un tema muy complejo cuyas relaciones y interacciones deben ser determinadas una y otra vez con gran consumo de tiempo. De esta forma el Experto puede ahorrarse trabajos repetitivos.

Ahora, después de haber visto la composición del equipo de trabajo para la construcción de un sistema experto veremos la metodología que se adoptada para el desarrollo de un sistema experto.

1.7.2 FASES DE LA METODOLOGIA DE CREACION DE UN SE

Dividiremos esta metodología en tres fases [ALTY. J. L., 1984]:

A. ELECCIÓN DE LA APLICACIÓN

Como dijimos antes, lo primero que debemos hacer es saber si este problema es abarcable por un sistema experto, es decir que cumpla las siguientes condiciones:

- ◆ *Información declarativa:* El verdadero desafío al programar los sistemas expertos es alguna manera de capturar el conocimiento usados por los expertos en cuestión, en otras palabras, la forma de ir educando a las máquinas.

Para ello, se hace inevitable la necesidad de considerar al conocimiento como modular, y de este modo si un sistema experto en desarrollo falla en algunas de sus conclusiones, sería lógico pensar que esto se debe de alguna manera al hecho de que falta algún conocimiento o experiencia en el programa como para dar con el resultado satisfactorio. Como es generalmente difícil el poder cambiar las largas líneas de códigos para alterar o actualizar algún dato de la base de conocimientos, entonces se programa a los SE de alguna manera para que puedan ser actualizados y mantenidos por los usuarios.

Esta condición de que el conocimiento debe ser considerado como un módulo impide la solución de problemas en que intervenga el sentido común o el conocimiento de otras áreas del saber humano.

- ◆ *Ventajas de la interfaz:* Como las inferencias hechas por un SE son similares a las hechas por los mismos expertos humanos, el comportamiento de un SE es naturalmente amigable, y los usuarios generalmente pueden mantener el sistema. Otra ventaja es que el conocimiento faltante en la base de conocimientos puede ser fácilmente obtenida de un modo natural.

- ◆ *El SE debe ser capaz de explicar sus conclusiones:* La característica más importante de los SE es su habilidad para explicar sus conclusiones. Esto se debe a que se puede defender las conclusiones en términos de las oraciones de la base de datos que fueron usados para llegar a esa conclusión.

La importancia de este proceso no es sólo que de esta forma se puede verificar fácilmente algún razonamiento incorrecto de la máquina o tal vez la falta de algún conocimiento importante para llegar a una conclusión valedera, sino que de esta forma la máquina es capaz de enseñar a los humanos a partir de sus experiencias.

B. ELECCIÓN DE LA HERRAMIENTA APROPIADA

Esta herramienta puede ser un motor de inferencia ya existente, al cual adaptemos nuestro SE o la realización de uno nuevo.

En el mercado existen muchas herramientas llamadas Shells a los cuales se pueden adaptar algunos SE. Si el ingeniero de conocimiento vislumbra utilizar una herramienta de desarrollo ya existente, es necesario elegir una que se adapte a las necesidades, ya que existen grandes disparidades en este tema.

Se han establecido algunos principios esenciales concernientes a la elección de una herramienta de desarrollo de SE:

- ◆ La herramienta debía poseer solamente el grado de generalidad necesario para resolver el problema dado.
- ◆ Probar el software de partida construyendo un pequeño prototipo antes de lanzarse a su realización.
- ◆ La herramienta debería poseer las características siguientes:
 - El lenguaje de representación del conocimiento deberá ser lo más simple y universal posible.

- Un medio de acceso a los mecanismos de control si la generalidad es más importante que la eficacia, o a la inversa, un sistema de control muy limitado si se busca un aprendizaje, una automodificación o explicaciones elaboradas.
 - Capacidades de diálogo elaboradas (lenguaje cuasi natural, diccionario...) si el tiempo de desarrollo es un factor crítico
- ◆ Por último es necesario utilizar una herramienta que ya haya servido para una aplicación comparable.

Para la realización de un Sistema Experto también se debe de considerar el formalismo de representación del conocimiento a usar, así como la técnica de solución del problema adecuado a este formalismo y al problema que se está considerando, pero la determinación de estos se obtiene luego de haber efectuado la adquisición y el modelado de la información para posteriormente reducirlo a un nivel simbólico y así poderlo implementar como un Sistema informático.

C. TRANSFERENCIA DE EXPERIENCIA

La transferencia de experiencia se efectúa del experto al SE, ayudado por el ingeniero de conocimiento.

La disciplina que interviene en la transferencia de experiencia se denomina ingeniería de conocimiento o cognimática

Este proceso se descompone en cuatro fases o etapas:

- Análisis del problema
- Adquisición de conocimiento y conceptualización.
- Formalización y representación del conocimiento y
- Validación

El encadenamiento de estas fases se representa en la siguiente Figura.

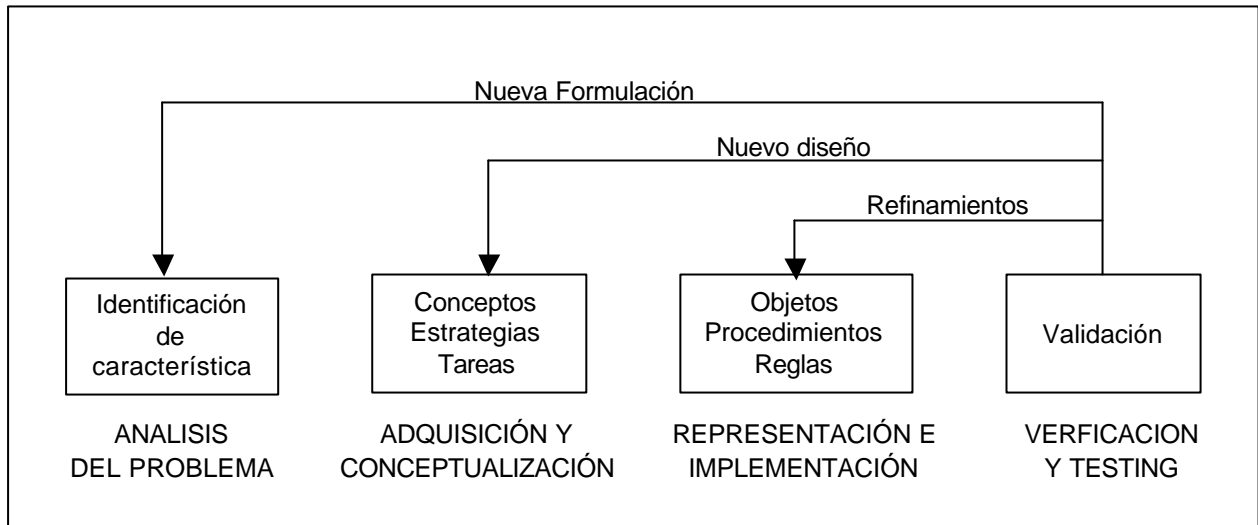


Figura 4. Ciclo de Construcción de un Sistema Experto

FASE 1 : ANALISIS DEL PROBLEMA

El primer paso consiste en elaborar los problemas que deben ser resueltos por el sistema. Precisamente en esta primera fase es de vital importancia determinar correctamente el ámbito de trabajo. Aquí se incluye ya el usuario posterior, o un representante del grupo de usuarios. Para la aceptación, y en consecuencia para el éxito, es primordial tener en cuenta los deseos y las ideas del usuario. El resultado de esta fase es el proyecto de construcción del SE.

FASE 2 : ADQUISICIÓN DE CONOCIMIENTO Y CONCEPTUALIZACIÓN.

El objetivo consiste en identificar todos los elementos que intervienen en la solución del problema (conceptos, procedimientos, reglas de inferencia, heurísticos, casos especiales, métodos de razonamiento, restricciones, etc). La información puede obtenerse de distintas fuentes: diálogo directo con expertos, información escrita (libros, informes, revistas, etc), datos empíricos proporcionados por aparatos de medida o por observaciones, datos gráficos (imágenes, dibujos, diagramas, etc). A medida que se obtiene el conocimiento es necesario depurarlo, seleccionando los conceptos básicos que harán posible el funcionamiento del sistema.

FASE 3 : FORMALIZACIÓN Y REPRESENTACIÓN DEL CONOCIMIENTO

La actividad del ingeniero del conocimiento en esta fase se concreta en las siguientes tareas:

- Elección de un formalismo de representación del conocimiento
- Elección de una arquitectura que permita coordinar y manejar los distintos tipos de elementos que intervienen en la solución del problema
- Creación de la base de conocimiento utilizando el formalismo y la arquitectura elegida.
- Diseño de la interfaz del SE con el usuario y con el resto del entorno lógico.

En esta fase se determinan las **reglas** y se incorporan a la **base de Conocimientos**

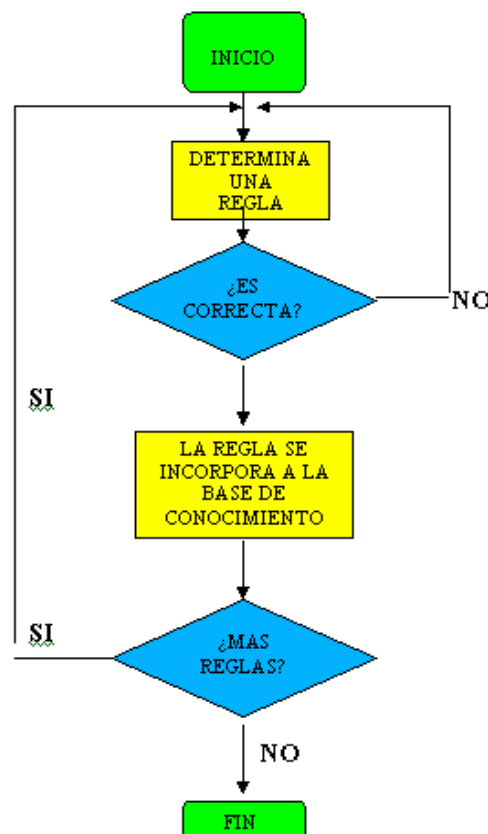


Figura 5: Proceso lógico de Carga de la Base de Conocimiento

Asimismo se detectan los **hechos** y se incorporan a la **base de hechos**. Si no existe al menos una regla que contenga ese hecho debemos determinarla ya que de no ser así, ese hecho estaría de más en la base de hechos.

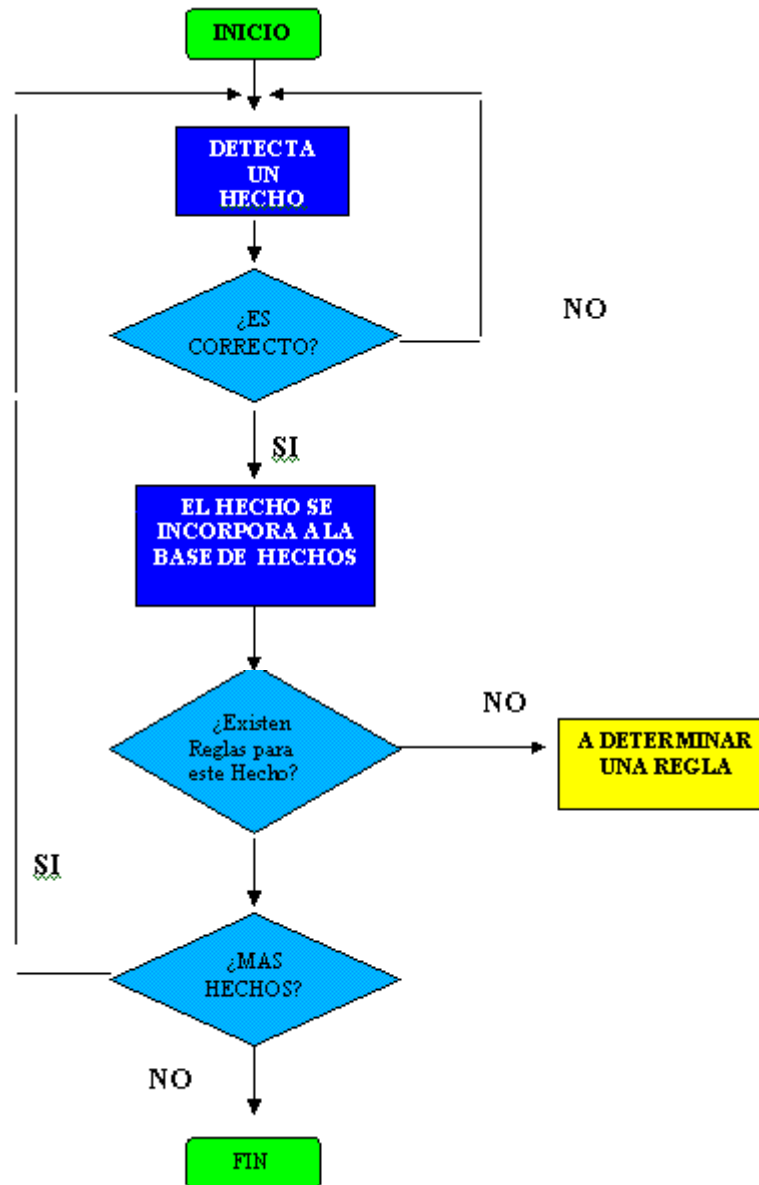


Figura 6 : Proceso lógico de carga de la base de hechos

Durante la **inferencia** se puede verificar o deducir hechos. En la **verificación** de un hecho el proceso está dirigido por los **objetivos** mientras que en la **deducción** está dirigido por los datos.

Para esquematizar este proceso utilizaremos el encadenamiento hacia atrás, solo como un ejemplo gráfico. Por medio de **cascadas de órdenes**, veremos ambos casos.

VERIFICACIÓN DE UN HECHO

En este proceso, una vez tomado un hecho, se produce el **encadenamiento** hacia atrás. Es decir, se parte de la premisa para llegar a los **datos**.

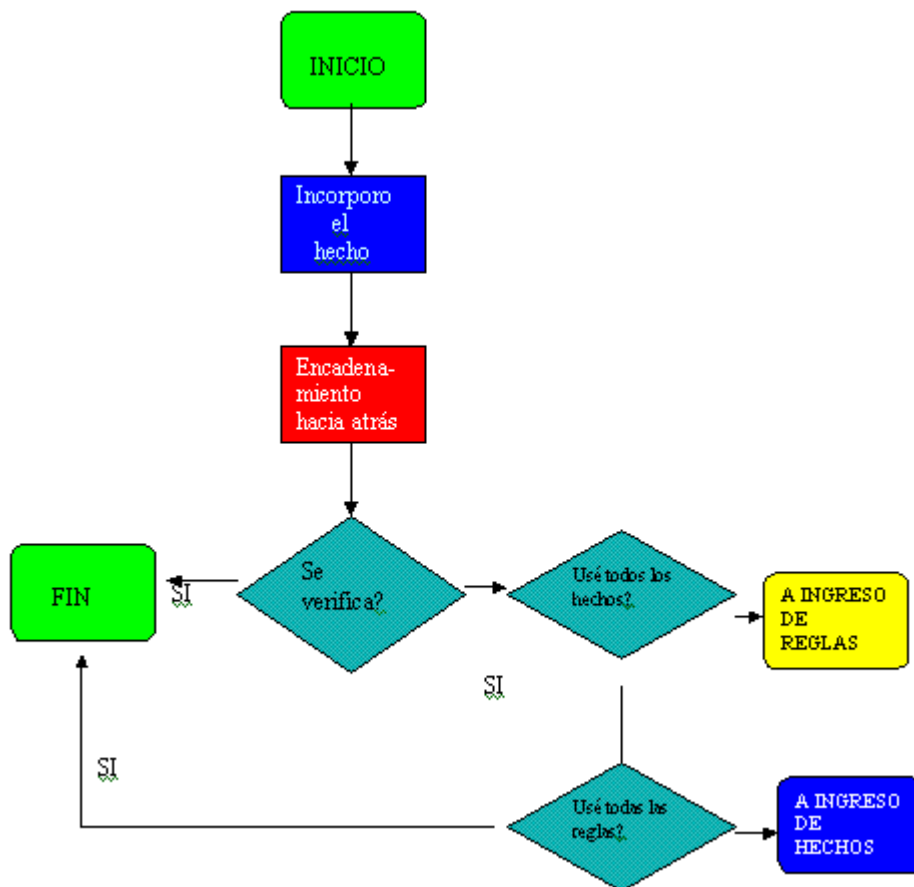


Figura 7 : Verificación de un hecho

DEDUCCIÓN DE UN HECHO

En este proceso, primero se requieren los datos para analizar la **premisa**. O sea, partimos del:

IF < condición >

para tomar luego la **decisión** de continuar o no con él:

THEN < conclusión >

La **conclusión** de una regla puede constituirse en **condición de la premisa** necesaria para otra regla y seguir así sucesivamente. Hasta llegar al resultado final de la **inferencia**.

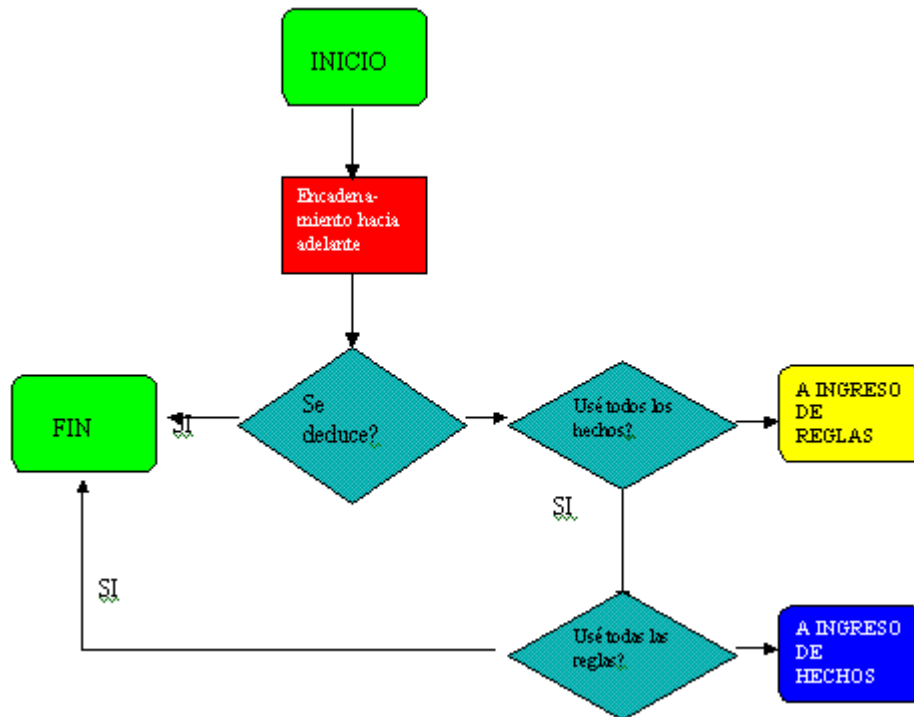


Figura 8 : Deducción de un hecho

FASE 4 : VALIDACIÓN

El desarrollo de un sistema experto no se considera que está acabado una vez que funciona este, sino que se continúan desarrollando y actualizando tanto el conocimiento del sistema como los métodos de procesamiento, quedando reflejados los progresos o modificaciones en el campo, área o sistema.