

SISTEMAS EXPERTOS, CONCEPTOS GENERALES Y SU APLICACION COMERCIAL

Beatriz Zolezzi del Río*
Rodolfo Calvo Fernández*

RESUMEN

En este artículo se describen una serie de conceptos relacionados con la tecnología de los sistemas expertos, sus características, el estado actual y su tendencia.

Adicionalmente se comentan los resultados obtenidos en una investigación aplicada a una serie de empresas en los Estados Unidos que actualmente están utilizando esta tecnología con propósitos comerciales, en términos de los objetivos y las operaciones que estas empresas pretenden apoyar con su utilización.

Finalmente se comenta la relación de estos sistemas con la función de Informática dentro de la organización.

¿QUE SON LOS SISTEMAS EXPERTOS?

Después de más de veinte años de investigaciones en los diferentes campos de la inteligencia artificial, recientemente se han comenzado a observar sus resultados prácticos y productos finales que han tenido acogida en el mercado computacional.

Estos resultados han comenzado a aplicarse con éxito en dos áreas básicas:

- Procesamiento del lenguaje natural
- Máquinas de razonamiento automático.

Entre estos productos, los denominados **sistemas expertos** muestran tres características básicas que

los hacen diferentes de los otros sistemas creados en inteligencia artificial, y que les abren un potencial comercial muy amplio:

- Utilidad práctica
- Eficiencia
- Transparencia.

En esta sección se definen algunos de los conceptos básicos que serán utilizados posteriormente, así como aspectos meramente informativos en esta área de la inteligencia artificial.

Expertos humanos

Es necesario dar algunas definiciones de lo que se entiende por experto, inteligencia, ingeniero de conocimiento, con el propósito de definir el marco de referencia alrededor del cual girarán los conceptos que se utilizarán posteriormente.

Definición 1

Un **experto** o especialista es una persona que tiene conocimientos profundos de un área reducida del conocimiento humano y posee experiencia en la solución de problemas de ésta.

Definición 2

Inteligencia es también la capacidad de un sistema para seleccionar, de un conjunto de opciones, aquella que más le conviene ante una situación particular.

* Profesores, Programa de Maestría en Computación, Instituto Tecnológico de Costa Rica

Es importante hacer énfasis en que un experto humano solamente puede solucionar problemas con diferentes grados de complejidad de un área reducida del conocimiento humano, y que además, posee una alta experiencia en la solución de éstos.

Ante esto, se puede decir que un experto humano posee un alto grado de inteligencia para la solución de problemas en su campo, es decir, tiene un alto grado de especialización o pericia (*expertise*).

Un experto humano puede brindar explicaciones coherentes para justificar la forma, o el proceso de razonamiento que utilizó para llegar a una conclusión ante la situación problemática que se le presenta, así como las razones que lo respaldan para hacer una pregunta o solicitar un examen parcial de algún aspecto de la situación que se analiza.

Definición 3

Al procesamiento de razonamiento, que le permite al experto humano llegar al diagnóstico de una situación problemática a partir de su conocimiento, se le denomina **proceso de inferencia**.

Los sistemas expertos

Actualmente existen algunos programas que muestran características de experto humano, y que han logrado en muy poco tiempo crear grandes expectativas en el campo de inteligencia artificial aplicada. A estos sistemas se les denomina **sistemas expertos**.

Definición 4

Se denominan **sistemas expertos** a los programas que pueden hacer uso de un conjunto de estructuras que representan el conocimiento, proveniente de uno o varios expertos humanos, en los cuales se exhibe la misma calidad de decisión de éstos, ante una situación problemática.

Actualmente, se ha notado por medio de diferentes experiencias que para la introducción adecuada del conocimiento al sistema, es necesario interpretar el conjunto de patrones que proporciona

el experto humano y expresarlo de una manera adecuada, para que pueda ser utilizado eficientemente por el sistema experto.

Los sistemas expertos pueden revestirse de conocimientos a partir de uno o más expertos humanos, algunos de estos expertos carecen o han tenido muy poca relación con esta nueva tecnología por lo que es necesario crear una interfaz entre el experto humano y el sistema experto.

Definición 5

A la persona que interpreta los patrones de conocimiento, razonamiento e inferencia del experto humano y que introduce dichas interpretaciones al sistema experto, se le denomina **Ingeniero de conocimiento**.

Elementos de un sistema experto

Un sistema experto puede ser dividido entre subsistemas básicos que son:

- Máquinas de inferencia
- Base de datos de conocimiento
- Máquina de desarrollo.

Estos elementos interactúan entre sí, logrando crear una máquina de razonamiento automático o sistema experto. Una definición breve de cada concepto se presenta a continuación.

Definición 6

Una **máquina de inferencia** es un subsistema dentro del sistema experto, el cual puede interpretar y aplicar un conjunto de reglas sobre una base de conocimientos, con el propósito de llevar a cabo deducciones lógicas en el proceso de solución de problemas.

Definición 7

Una **base de datos de conocimiento** es un conjunto de datos y reglas que representan conceptos, hechos, objetos y situaciones reales de un área

del conocimiento, obtenidos a partir de la interpretación y experiencia de un experto humano.

Definición 8

Una **máquina de desarrollo** es un subsistema que provee las herramientas necesarias para que el ingeniero de conocimiento cree, actualice, modifique y evalúe la eficiencia de una base de datos de conocimiento.

La Figura No.1 muestra los principales subsistemas de un sistema experto.

Los sistemas antes mencionados son denominados sistemas expertos *ad-hoc*. Actualmente el principal problema que muestran los prototipos en operación es que existe una dependencia funcional entre la base de datos de conocimiento y la máquina de inferencia.

Algunos ejemplos de sistemas expertos de esta naturaleza son:

- Mycin
- Dendral
- R1/XCOM
- Prospector
- Eurisko.

En los últimos años, han aparecido sistemas que poseen características de un sistema experto, pero que no son utilizados solo para la solución de problemas específicos y que además son muy difíciles de adaptar para que puedan solucionar problemas de otras áreas del conocimiento humano.

A partir de éstos se ha tratado de generalizar la idea de sistemas expertos con el propósito de construir un sistema general capaz de ser revestido con conocimiento de cualquier área específica, generar sistemas expertos en ellas y mantener la infraestructura de razonamiento automático fija. Esto puede lograrse si se mantiene la base de datos de conocimiento independiente de la máquina de inferencia.

Aprendizaje en un sistema experto

Entre más problemas haya resuelto un experto humano, la cantidad de conocimiento aumenta, por lo que su capacidad discriminativa se agiliza. Un

sistema experto, teóricamente, debe exhibir el mismo comportamiento.

La mayoría de los sistemas expertos actuales no tienen la capacidad de aprendizaje automática, es decir, son estáticos. Esto se debe a que este aspecto, dentro de la inteligencia artificial se encuentra actualmente en etapas de experimentación.

Las maneras de adquisición de conocimiento de los sistemas expertos que están aplicándose actualmente en prototipos son aprendizaje por:

- Analogía
- Ejemplos
- Razonamiento automático
- Interacción con el experto humano
- Observación, descubrimiento y experimentación.

Ingeniero de conocimiento

Un sistema no puede proveer soluciones para los problemas que los humanos no pueden solucionar.

Para que un sistema experto pueda solucionar eficientemente un problema que requiera un grado de conocimiento experto, la base de datos de conocimiento debe tener todo aquel conjunto de elementos del dominio de conocimiento, así como el conjunto de reglas que se pueden utilizar en el proceso de inducción y deducción.

Como se mencionó anteriormente, uno de los principales problemas que se origina cuando se pretende crear una base de datos de conocimiento, es precisamente cómo se puede codificar o representar el conocimiento inestructurado de un experto, en la base de datos de conocimiento.

A raíz de este problema aparece el concepto de ingeniero de conocimiento, el cual es responsable de revestir a la base de datos de conocimiento, de todo aquel conjunto de símbolos que representan internamente:

- Conceptos atómicos del dominio de conocimiento
- Vocabulario
- Reglas que relacionan diferentes conceptos
- Elementos para la cuantificación de incertidumbre.

Otro aspecto muy importante es el monitoreo de la base de datos de conocimiento, la actualización de cada uno de los aspectos antes mencionados, el

grado de eficiencia con el que se lleva a cabo el proceso de inferencia, así como el grado de

veracidad con el que se llega a probar una hipótesis o diagnóstico.

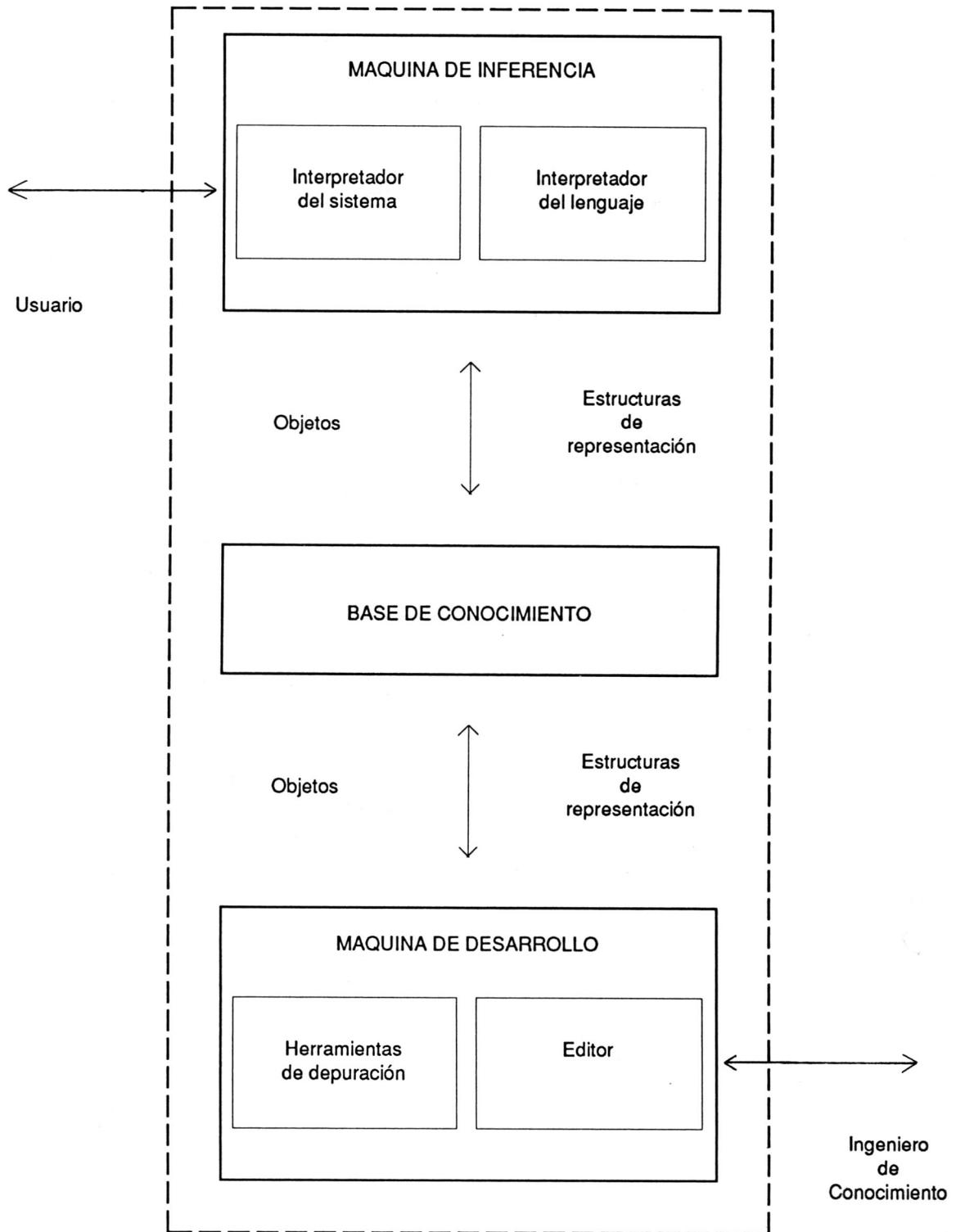


FIGURA No. 1. Diagrama de los subsistemas de un sistema experto.

Características deseables de un sistema experto

Las principales características que es deseable que posea un sistema experto son:

1.– La base de datos de conocimiento debe manejar:

- Reglas de inferencia que relacionen los objetos de un dominio
- Reglas de incertidumbre que deben evaluarse en el proceso de inferencia
- Reglas redundantes así como contradictorias.

2.– La máquina de inferencia debe:

- Tener una interfaz con el humano con un nivel de ergonomía adecuado
- Explicar porqué se solicita una información, o porqué se hace una pregunta
- Justificar y respaldar una hipótesis o un diagnóstico
- Generar nuevas reglas, a partir de la interacción con los usuarios.

3.– La máquina de desarrollo debe:

- Proveer herramientas sencillas y eficientes que ayuden al ingeniero de conocimiento en sus funciones
- Mantener un conjunto de estadísticas que sirva para medir la eficiencia del sistema
- Resolver colisiones ante situaciones conflictivas.

A continuación se muestran los aspectos más importantes que resumen el estado actual de la tecnología de los sistemas expertos existentes:

- Limitado dominio de especialización (*expertise*)
- Lenguaje de computación limitado para expresar, datos y relaciones
- Suposiciones limitantes acerca del método de solución de problemas
- Lenguajes de entrada y salida estilizados
- Explicaciones de la línea de razonamiento estilizadas
- Poco conocimiento del panorama del dominio y limitaciones del problema
- Base de datos de conocimiento extendible pero muy poca ayuda para las decisiones del diseño inicial.

Estado actual y tendencia de los sistemas expertos

El desarrollo de la tecnología de los sistemas expertos ha sido lento. Sin embargo, recientemente se ha despertado un gran interés en las empresas por investigar el potencial de esta tecnología, tanto en su aplicación para incrementar el conocimiento sobre el negocio, mejorar la operación actual de la empresa y la administración de sus recursos, como para utilizarla con el fin de extender la aplicación de la informática como estrategia competitiva en el desarrollo de productos o servicios totalmente nuevos.

Algunos aspectos específicos donde existe una gran expectativa de recibir altos beneficios de la inversión en esta tecnología son:

- Incremento de la productividad
- Reducción de costos en entrenamiento
- Reducción de costos en personal
- Aplicación de conocimientos consistentemente en la empresa a través del tiempo
- Preservación del conocimiento desarrollado por el personal experto en las empresas
- Diseminación de la experiencia y del conocimiento
- Apoyo a la solución de problemas que presentan una baja estructuración.

Aunque los beneficios son extremadamente atractivos, hasta el momento, no todas las empresas se han mostrado interesadas en ser las primeras en incursionar en el desarrollo e implantación de sistemas expertos ya que la introducción de éstos es una tarea difícil.

Como en todo proceso de introducción de nueva tecnología en una organización se presentan, además de los retos tecnológicos y el riesgo inherente a este proceso, aspectos de administración de esta tecnología que no han sido aun experimentados o explorados.

Sin embargo, las empresas que han decidido ser pioneras en la introducción de esta tecnología serán las primeras en generar experiencias y recorrer su curva de aprendizaje, lo cual indudablemente les proporcionará una ventaja en el logro de los beneficios que los sistemas expertos prometen.

Panorama actual sobre la utilización comercial de los sistemas expertos

Con base en los datos obtenidos en un estudio exploratorio sobre la utilización de los sistemas expertos, realizado en marzo de 1987¹, se describe un panorama general sobre la utilización de esta tecnología en empresas del sector privado en Estados Unidos.

Este estudio se realizó utilizando un cuestionario que fue enviado a la persona involucrada directamente en el proceso de adopción de esta tecnología en la organización. Para asegurar que la persona apropiada recibiera el cuestionario, se realizaron primero contactos telefónicos con ellas.

El proceso de selección de la muestra utilizada fue el muestreo por conveniencia ya que se deseaba que las empresas tuvieran un perfil homogéneo. El perfil de las empresas presenta las siguientes características.

- La empresa debía tener actividades en el área de sistemas expertos
- La empresa no debería ser una universidad, centro de investigación o casa proveedora de *hardware* o *software*
- La empresa debía ser una empresa productora, diversificada y estar entre las empresas listadas como FORTUNE 100 (dos billones de dólares o más en ventas en 1985).

Se seleccionó una muestra de 37 empresas de las cuales 22 contestaron el cuestionario o sea el 60%.

En dicho estudio, se pretendió identificar la aplicación actual y las tendencias e inquietudes presentes en el medio respecto al uso organizacional de los sistemas expertos.

Específicamente, el estudio hace énfasis en detectar la tendencia en el uso de la tecnología y las herramientas, tanto de *hardware* como de *software*, examinar el aspecto de integración de los sistemas expertos al ambiente de informática existente, exponer los objetivos que las empresas persiguen al utilizar esta tecnología y describir el área de aplicación actual de estos sistemas.

Experiencia de las empresas con los sistemas expertos

Para poner en perspectiva la experiencia de las empresas con esta tecnología, es interesante notar

que 45% de las empresas han estado involucradas con tecnología de sistemas expertos desde hace solo 2 o menos años, el 30% lo han estado por un período entre 2 y 4 años y únicamente el 25% tiene más de 4 años de dedicar esfuerzos específicos al respecto.

Otro de los aspectos generales más interesantes es que, en forma acumulativa, estas empresas tienen en desarrollo a la fecha del estudio, 550 sistemas expertos y solo 110 implantados.

Estos dos datos nos indican lo reciente de la actividad de sistemas expertos en las organizaciones. Además de señalar el hecho de que existe aun muy poca experiencia generada en la implantación y operación de estos sistemas.

USO DE LA TECNOLOGIA

Utilización de hardware

De las empresas que utilizan la tecnología de sistemas expertos, ya sea para su desarrollo o implantación, se puede sumarizar lo siguiente respecto al uso del *hardware*:

Actualmente, el 80% de las empresas desarrollan sistemas expertos utilizando microcomputadoras o procesadores LISP especializados (41% y 39% respectivamente). Sin embargo, la tendencia esperada por las empresas es que dentro de 2 años, la utilización de los procesadores LISP baje (27%), la utilización de microcomputadoras se mantenga (42%) y se incremente en pequeña proporción el uso de otros equipos tales como estaciones de ingeniería y computadoras grandes de propósito general.

Es interesante notar que muchas empresas no utilizan el mismo *hardware* para el desarrollo de los sistemas expertos que para su implantación. Actualmente, 56% de los sistemas expertos se implantan en microcomputadoras y los procesadores LISP especializados se utilizan solo en el 19% de los casos. El resto de los sistemas se implantan en estaciones de ingeniería, minicomputadores o computadoras grandes de propósito general. Esto probablemente se debe al alto costo por usuario de los procesadores LISP.

La tendencia en el uso de *hardware* para la implantación de los sistemas expertos para los próximos dos años, es disminuir la utilización de

procesadores LISP de un solo usuario aun más e incrementar el uso de sistemas multiusuarios.

Utilización del software

Sobre la utilización de lenguajes de programación para el desarrollo de los sistemas expertos, LISP es el lenguaje que se utiliza con mayor intensidad, por un gran margen (53%). Le sigue "C" con un 22% de utilización y otros como LOOPS y ADA con un porcentaje de utilización del 15%. Prolog es utilizado solo en un 8% lo que no es sorprendente, pues confirma el patrón predominante en Estados Unidos respecto a la utilización de LISP y no de Prolog como lenguaje de programación en el área de sistemas expertos.

La expectativa respecto a la utilización de lenguajes de programación es una disminución en la intensidad de utilización de LISP (de 53% a 35%) y un incremento en el uso de lenguajes de propósito general tales como "C" (de 22% a 25%) y otros (ADA, LOOPS) (de 15% a 25%).

Los llamados esqueletos de sistemas expertos (*shells*) son utilizados virtualmente por todas las empresas. El esqueleto de sistema experto mencionado con mayor frecuencia es Personal Consultant, un esqueleto para microcomputadora. Le siguen Kee y Art, que son esqueletos diseñados para procesadores LISP.

Estos resultados concuerdan con los ya mencionados en la sección de utilización de *hardware* y nos señalan la tendencia hacia el uso de microcomputadoras y las herramientas disponibles para este tipo de equipo.

Descripción del área de aplicación de los sistemas expertos

Utilizando el esquema de clasificación de aplicaciones planteado por Gorry y Scott Morton⁴, se puede determinar que los sistemas de información tradicionales se ubican dentro de la matriz dependiendo de las decisiones o tareas que apoyan y el nivel de una organización en el que se manejan estas tareas o decisiones.

En el Cuadro No. 1 se muestran algunos ejemplos de sistemas clasificados utilizando este esquema.

Ahora, si se clasifican los sistemas expertos más conocidos, tales como XCON de Digital, YES/MVS ES de IBM, Prospector de Stanford y otros dentro de este esquema, se puede observar que la mayoría cae dentro de la categoría de sistemas operativos que apoyan decisiones o tareas semiestructuradas¹², siendo esta categoría, por sus características, una de las más prometedoras para el desarrollo de los sistemas expertos.

Los resultados del estudio realizado concuerdan con este planteamiento, ya que los sistemas exper-

CUADRO No. 1.
Esquema para los sistemas de información.

Tipo de decisión y tarea	Nivel dentro de la Organización en el que se manejan estas decisiones/tareas		
	Control operacional	Control administrativo	Planeación estratégica
Estructuras	Reorden de inventarios	Programación lineal para producción	Localización de fábricas
Semiestructuradas	Manejo de cartera de bonos	Establecimiento de presupuesto para líneas de productos de alta moda	Análisis de adquisiciones que requieren uso intensivo de capital
No estructuradas	Selección de la decoración para una oficina	Contratación de personal de alto nivel (gerentes ejecutivos)	Desarrollo de una cartera de proyectos de investigación

CUADRO No. 2.
Clasificación de tareas en áreas funcionales.

Area funcional	Tipo de tarea apoyada	Frecuencia de la selección (en %)
Producción	Diagnóstico	10%
Otro	Diagnóstico	8%
Investigación y desarrollo	Diseño	8%
Producción	Planeación	8%
Mercadeo	Planeación	6%
Otras tareas obtuvieron una frecuencia de selección menor al 6%		

tos que actualmente están implantados en las empresas estudiadas apoyan los tipos de tareas en las áreas funcionales mencionadas en el Cuadro No. 2.

Como se puede observar, la mayoría de los sistemas apoyan tareas de diagnóstico (18%) en el área de Producción y otras, (se considera el diagnóstico como una tarea de tipo operativo), seguida por apoyo a tareas de planeación en el área de producción y mercadeo, áreas donde las decisiones tienden a ser semiestructuradas.

Es interesante notar que no aparecen sistemas expertos para el desarrollo de decisiones o tareas en el área de informática.

Objetivos de los sistemas expertos

Al preguntar a las empresas participantes sobre el motivo y los objetivos que se persiguen al utilizar esta tecnología, la respuesta citada con mayor frecuencia es que se desea incrementar la productividad, mejorar la calidad de los productos e incrementar utilidades (frecuencia 10%). Otra respuesta citada casi tan frecuentemente como la anterior, es que las empresas desean comprender mejor la relevancia de la tecnología de sistemas expertos para efectos estratégicos del negocio (9%). Con una menor frecuencia se seleccionó el objetivo de producir nuevos productos o mejorar productos existentes (4%). Otros objetivos fueron seleccionados con una frecuencia menor al 2%.

Esto concuerda con otro estudio (Coopers and Lybrand) donde las compañías que participaron utilizan los sistemas expertos para mejorar la operación del negocio (74%), para obtener liderazgo competitivo (62%) y para obtener ventaja estratégica (55%).

Integración de los sistemas expertos con el ambiente actual de informática

Uno de los aspectos sobre sistemas expertos que están causando mayor inquietud en las compañías es la integración de esta tecnología al ambiente actual de informática.

Esta integración es considerada altamente deseable ya que la inversión en aplicaciones informáticas, tanto desde el punto de vista de sistemas como de bases de datos existentes, es considerable.

El interés de las empresas es lograr utilizar esta base instalada y los sistemas expertos en forma integrada. Sin embargo, los resultados del estudio muestran que los sistemas expertos no están integrados a aplicaciones actuales de sistemas de información (65%). Este porcentaje es aún mayor ya que algunas respuestas incluyeron la intención de integración en el futuro como un hecho de que sí existe integración.

Este resultado es de esperarse ya que el *software* y el *hardware* utilizados para el desarrollo de los sistemas expertos, en gran parte, no son compatibles con la tecnología utilizada en los sistemas de información tradicionales.

Otro aspecto relacionado con este punto es que el centro de informática en las empresas no ha tenido un rol importante ni responsabilidad en la promoción y adopción de la tecnología de sistemas expertos en forma integral en la empresa (75%). Solo en un 25% de los casos el centro de informática sí ha desempeñado esta función en la organización.

Adicionalmente y en forma un poco sorprendente, ni siquiera se nota un esfuerzo especial de los centros

de informática en la adopción de esta tecnología para el apoyo de funciones del centro ya que, según los resultados del estudio, 60% de los centros de informática no cuentan con una estrategia para promover o adaptar esta tecnología para su uso interno.

CONCLUSIONES

Aunque se ha visto que el desarrollo e implantación de los sistemas expertos presenta actualmente grandes riesgos y dificultades, las empresas están empezando a dedicar atención y esfuerzos a la promoción y adopción de esta tecnología.

Adicionalmente el esfuerzo que están invirtiendo en este campo no es con el afán de realizar un ejercicio académico sino con el de lograr objetivos bastante específicos como incrementar la productividad u obtener ventaja estratégica y competitiva.

Para los países en vías de desarrollo, los cuales en su mayoría carecen de recursos humanos y conocimientos necesarios a nivel de experto en áreas básicas de la ciencia y la tecnología los sistemas expertos ofrecen una gran opción.

Como punto de partida, las Universidades y los Centros de Investigación deben comenzar a analizar formalmente esta opción tecnológica y establecer los lineamientos que al respecto deberían seguir las organizaciones para la eventual introducción de estos sistemas.

Finalmente, al exponer los resultados de este estudio hemos identificado algunas tendencias importantes en el área de sistemas expertos. Con esto pretendemos que empresas u organizaciones interesadas en considerar la promoción y adopción de esta tecnología utilicen esta información en la elaboración de un marco de referencia que apoye esta labor.

BIBLIOGRAFIA RECOMENDADA

1. Baldaji, G., y otros **Report on Expert Systems 3M, IS and DP**. Saint Paul, Minnesota; 1987.
2. Buchanan, B.G. **New Research on Expert Systems**. Stanford University, U.S.A. Machine Intelligence 10.
3. Dana S., Nau. **Special Feature, Expert Computer Systems**. University of Maryland. **Computer**, Febrero 1983. IEEE Computer Society press, 1983.
4. Gorry, G.A y Scott-Marton, M.S. **A Framework for Management Information System**. **Sloan Management Review**, Vol. 13, No. 1. p. 55-70. 1971.
5. Guzmán Arenas, Adolfo. **Sistemas expertos fundamentos y aplicaciones inmediatas**. Depto. Ingeniería CINVESTAV, México. Compomundo. Agosto 1984.
6. Harmond, Paul; King, David. **Artificial Intelligence in business**. **Expert Systems** 1985.
7. Kinnucan, Paul. **Software tools speed expert systems development**. **High technology**, Marzo 1984.
8. Lenat, B.D. **Theory formation by heuristic search**. **Search and Heuristics**. North Holland, 1983.
9. Marik, Zdrahal, Méndez. **An skeleton of expert systems: Mexexp 1.0** Instituto Politécnico Nacional, Mex. D.F. Reporte Técnico 29 Noviembre 1984.
10. Michie, D.; Michaelsen, R.; Boulanger, A. **The technology of Expert Systems**. **Byte**. Abril 1985.
11. Rauch-Hidin, Wency. **Artificial intelligence, a solution whose time has come**. **Systems & Software**, Vol. 2, No. 12. 1983.
12. Sviokla, John. **Business implications of knowledge-based systems**. **Data Base** Summer and Fall. 1986.
13. Sowa, J.C. **Conceptual structures, information process in mind and machine**. Addison Wesley, 1984.
14. Wang, Eugene. **Brain waves, artificial intelligence for competitive advantage**. **AI Expert**. January 1987.