

---

# Sistemas expertos y su aplicación en medicina

JAVIER E. FOX

---

El presente artículo es una revisión de los Sistemas Expertos Médicos como aplicación concreta de la Inteligencia Artificial. Se hace un recuento histórico de los mismos desde la década de los setenta; se dan nociones generales sobre lo que son los Sistemas Expertos, su arquitectura interna y las personas que interactúan con ellos para hacer posibles su desarrollo y aplicación; se destacan sus ventajas y desventajas y se integran los conocimientos básicos sobre Sistemas Expertos con el prototipo PULMONOLOGIST que hace diagnóstico diferencial de quince enfermedades pulmonares y muestra al usuario el diagnóstico más probable, los síntomas que dejó de exhibir el paciente, las pruebas confirmatorias realizadas y el tratamiento recomendado.

**PALABRAS CLAVE**  
SISTEMAS EXPERTOS MEDICOS  
INTELIGENCIA ARTIFICIAL

---

## INTRODUCCION

**A**ctualmente se están desarrollando algunos Sistemas Expertos Médicos (SEM) que tratan de simular el razonamiento del especialista y de

proporcionar el diagnóstico probable y el manejo del paciente. Esto permite usarlos en la enseñanza. Aún hay que superar muchas limitaciones y obstáculos para lograr sus objetivos y, por otra parte, los SEM nunca superarán el sentido común y el buen juicio del experto humano. Lo que se pretende es promover una relación más productiva entre el ser humano y la informática en el campo de la medicina.

En este artículo se presenta el PULMONOLOGIST como prototipo aunque actualmente hay SEM con mayor capacidad como el INTERNIST-I, que hace diagnósticos diferenciales en el contexto amplio de la medicina. Se pretende informar al personal médico y de ingeniería de sistemas sobre los SEM que se están poniendo en práctica en países desarrollados y que posiblemente ocuparán en un futuro no lejano un lugar importante en nuestro ejercicio y en la educación informática aplicada a la medicina. Si hay conciencia del alcance real de los SEM se los usará racionalmente evitando la deshumanización del ejercicio médico.

## INTELIGENCIA ARTIFICIAL Y SISTEMAS EXPERTOS

Para lograr que los programas aumenten su capacidad de procesamiento y manipulación de la información y del conocimiento, se desarrolló un área

---

DR. JAVIER E. FOX, Médico Interno, Facultad de Medicina, Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.

general de la investigación llamada Inteligencia Artificial (IA) (1). Su objetivo es lograr que la máquina realice acciones que requieren inteligencia (2,3). Abarca la robótica, el procesamiento del lenguaje natural, el aprendizaje, el reconocimiento de patrones y los SE (4). Estos son sistemas de computación capaces de brindar asesoría en un área específica con resultados similares a los que podrían obtenerse con ayuda de un especialista (4). Un SE sintetiza el conocimiento organizado acerca de algún campo de la experiencia humana. En el caso del diagnóstico el médico posee un gran acopio de conocimientos acerca de los signos y síntomas de las enfermedades; su experiencia reside en la capacidad de relacionar el estado de un paciente con las descripciones que proporcionan los textos. Al hacerlo, el médico determina qué síntomas y signos están presentes y coteja su significado con el de los ausentes y con la enfermedad ante la cual cree encontrarse. Cuanto mayor sea su capacidad para combinar sus conocimientos con las observaciones reales, tanto más exacta será su técnica de diagnóstico. Los factores limitantes serán la capacidad de recordar datos organizados, la de correlacionar los casos observados con el patrón de datos existente y la de aplicar este conocimiento cuando los datos sean incompletos o no se adapten bien a los casos anteriores. Los dos primeros factores son el punto fuerte de los ordenadores; el último es el de los expertos humanos. Si un sistema informático puede sustituir la agudeza del especialista por el análisis estadístico sus poderes superiores para organizar datos podrían capacitarlo para imitar en algún grado a aquél (5). Se pretende que el SEM sea capaz de enfocar el diagnóstico y ayudar en aspectos del manejo.

#### ALGUNOS EJEMPLOS DE SISTEMAS EXPERTOS MEDICOS

Desde comienzos de la década de los setenta se han venido desarrollando SE aplicados a la medicina; los prototipos iniciales fueron: el CASNET para diagnóstico y manejo del glaucoma; el MYCIN para diagnóstico y tratamiento de enfermedades infecciosas; el DIALOG-INTERNIST, hoy llamado CADUCEUS, para hacer diagnóstico diferencial en el contexto amplio de la medicina interna, el sistema ABED en el manejo del equilibrio ácido-básico; el programa Consejero Digital para el manejo de esta droga. Un sistema más reciente

es ONCOCIN para quimioterapia de pacientes con linfoma (13). Se han venido desarrollando muchas otras aplicaciones con funciones y metas muy definidas en las diferentes especialidades médicas. Cada uno de estos SEM tiene una forma específica de representar el conocimiento médico y de hacer el razonamiento lógico para llegar a una conclusión y sustentarla (14).

El desarrollo de los SEM ha recibido aportes de programas no médicos pero de los cuales se generaron nuevas ideas; entre ellos el DENDRAL, el META-DENDRAL y el PROSPECTOR (6-12).

#### ARQUITECTURA DE LOS SISTEMAS EXPERTOS

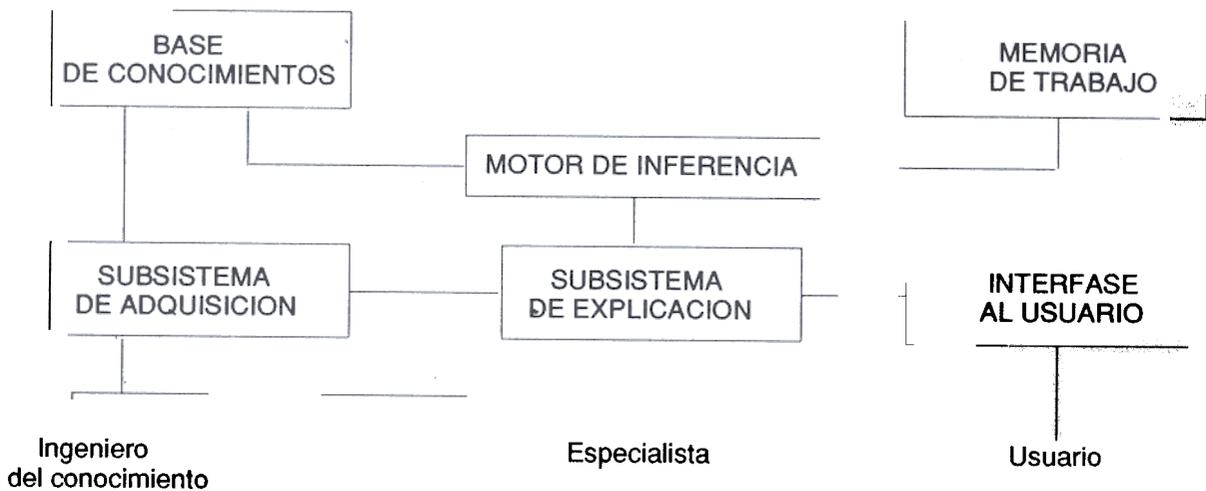
La arquitectura de los SE es compleja y cambia de uno a otro; en términos generales incluye los siguientes componentes: a) Base de conocimientos. b) Subsistema de adquisición de conocimientos. c) Subsistema de explicación (da la línea de razonamiento que el motor de inferencia ha seguido). d) Interfase al usuario que mejora la relación hombre-máquina con el procesamiento del lenguaje natural. e) Motor de inferencia que conduce el razonamiento. f) Memoria de trabajo donde se recopilan un subconjunto de la base de conocimientos y los hechos que describen el caso concreto vigente (4,15-17) (Figura N° 1).

Las personas que se relacionan con un SE son el usuario final que dialoga con el sistema para resolver problemas o para aprender; el especialista que comunica su conocimiento y experiencia para construir el sistema en forma heurística (el arte de inventar) y el ingeniero que diseña las estructuras de datos más adecuadas para representar el conocimiento y que traduce a ellas los aportes del especialista (4,15).

Es importante anotar que la base de conocimientos *está conectada a la memoria de trabajo que se activa en un momento dado y sirve para seguir el problema en todas sus fases. Contiene los datos de entrada del problema y lleva la secuencia histórica de todo lo que se ha hecho, con el objeto de poder justificar los pasos que se soliciten (15). Cuando termina el proceso de consulta la memoria de trabajo se elimina y la base de conocimientos queda con sus reglas y esquemas iniciales.*

*El motor de inferencia es la estructura de control que emplea la base de conocimientos para obtener la solución del problema (15). Contiene unas reglas*

FIGURA N° 1  
ARQUITECTURA DE UN SISTEMA EXPERTO



de razonamiento que permiten encadenar unos datos a otros para poder establecer las deducciones pertinentes. Existen dos estrategias globales de razonamiento: hacia adelante y hacia atrás; la primera parte de los síntomas para llegar a un diagnóstico como ocurre en PULMONOLOGIST. La segunda parte de la hipótesis hacia la evidencia: el sistema elige una hipótesis y busca datos para demostrarla o refutarla (16). El motor de inferencia también decide el orden en que se hace el razonamiento. La interfase al usuario es esencial porque ayuda a éste a interactuar con el sistema dándole explicaciones. EL subsistema de explicación da al usuario el proceso de razonamiento lógico que se realizó para llegar a una conclusión. El usuario puede preguntar el cómo o el porqué en cualquier momento del proceso de consulta.

#### CAPACIDADES, VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS SISTEMAS EXPERTOS

Los SE tienen capacidad de aprendizaje, de entender y hacerse entender, de desarrollar hipótesis alternativas, de resolver conflictos y de justificar sus conclusiones (4).

Estos sistemas evitan inconvenientes de los especialistas como la escasez, el pago de remuneraciones y la calidad de mortales (16). Tienen, además, otras ventajas como la de manipular una gran canti-

dad de información; ser útiles en la pedagogía médica porque para desarrollarlos se hace un estudio minucioso de la representación y razonamiento del conocimiento médico (18). Para resolver problemas los SE se basan en métodos que contienen sus resultados por razonamiento a partir de conocimientos sobre el tópico específico, previamente introducidos al sistema. En contraste los sistemas convencionales solucionan los problemas mediante algoritmos o procesos repetitivos fijos, programados con anterioridad y que esperan siempre el mismo tipo de datos a la entrada para procesarlos y generar la respuesta (15). A lo anterior se añade que los SE, a diferencia de los convencionales, tienen la posibilidad de proporcionar una explicación sobre el procedimiento que han seguido para llegar a una solución, justificando los pasos empleados en su proceso de deducción (15). Finalmente, los SE pueden incrementar su base de conocimientos añadiéndole más datos (15).

Entre los inconvenientes y desventajas de los SE cabe mencionar los altos costos de diseño ya que su realización requiere personal muy especializado, tiempo prolongado y tecnología compleja (19); los largos períodos de prueba para demostrar su confiabilidad, sobre todo cuando el sistema maneja grandes volúmenes de información (19); el uso inadecuado que puede tener un impacto negativo sobre la relación médico-paciente o incluso dar lugar a la no aceptación por parte del usuario médico.

## PROBLEMAS DE LOS SISTEMAS EXPERTOS

Algunos problemas serán duraderos en el perfeccionamiento de los SE, pese a la evolución de la IA; entre ellos cabe mencionar: a) La representación del conocimiento para la cual se están desarrollando lenguajes más novedosos y avanzados. b) Desarrollar sistemas que simulen la memoria humana y su raciocinio, la creatividad y la curiosidad (2,20-23). c) La inferencia: se requiere desarrollar métodos más eficaces y rápidos de búsqueda y razonamiento (2). d) El control de la explosión combinatoria: en un momento dado se consideran múltiples diagnósticos; el SE los debe seleccionar por prioridad (2). e) La modificación dinámica: corresponde al aprendizaje como resultado de las experiencias del SE (retroalimentación) (2,24,25). f) Mejorar la relación hombre-máquina desarrollando "órganos sensoriales" para lograr que los computadores puedan ser utilizados por personas sin entrenamiento previo (2,26-28). g) Aumentar la capacidad de memoria que hoy es restringida (2).

A la luz de lo anterior es evidente que falta superar muchos obstáculos en el campo de los SEM aunque en los países desarrollados la medicina ha tomado un nuevo rumbo con la implementación de esta tecnología. Es preciso, para mayor avance, crear una "alianza" de la superioridad de la mente humana en aspectos como creatividad, juicio e intuición, con la de la computadora en cuanto a velocidad y precisión del proceso y atención infatigable a los detalles (30).

No puede perderse de vista que más importante que los sistemas avanzados, los computadores y la IA son las personas y la forma como utilicen las herramientas para garantizarse una vida más segura, productiva, racional y realista frente a los avances tecnológicos y científicos (31); en un medio con limitaciones como el nuestro la introducción de los SE requerirá su adaptación a demandas y necesidades específicas.

## DESARROLLO DE LOS SISTEMAS EXPERTOS MEDICOS

En el desarrollo de los SEM hay dos fases importantes: la primera abarca la identificación de las características del problema y el hallazgo de conceptos para representar el conocimiento; se plantean los objetivos, se definen los recursos físicos y humanos disponibles y se lleva a cabo un estudio sobre viabi-

lidad y costos (4,15). La segunda fase incluye el diseño de estructuras para organizar el conocimiento, la formulación de reglas para incorporarlo y la validación de dichas reglas; así se elabora una versión inicial o prototipo, diseñada para evaluar la efectividad de las reglas y esquemas utilizados en la solución de un problema particular. Constantemente hay necesidad de reformular los problemas y los conceptos; de rediseñar las estructuras y de refinar las reglas. En esta tarea es importante preguntarse si se puede recurrir a sistemas ya existentes lo que supone utilizar sus reglas y su forma de realizar las deducciones. En tal caso se emplea como molde el sistema elegido y, simplemente, se trabaja con los datos del tema específico en desarrollo; posteriormente se comprueba su validez (15).

## PULMONOLOGIST: UN SISTEMA DE DIAGNOSTICO POR COMPUTADOR (30).

PULMONOLOGIST es un prototipo de SEM diseñado para ayudar a tomar decisiones diagnósticas y terapéuticas en enfermedades pulmonares. No reemplaza al especialista pero puede ayudar al médico a resolver ciertas dificultades cuando no cuenta con aquél. Este SEM fue el resultado de un estudio conjunto entre el Programa de Bioingeniería y el Departamento de Ciencias de la Computación en la Universidad de Texas: se pretendió que el sistema hiciera diagnóstico diferencial de las enfermedades pulmonares, sugiriera pruebas de laboratorio que ayudaran a confirmar o refutar un posible diagnóstico e indicara el tratamiento apropiado. El programa corre en una máquina simbólica lo que limita su aplicación en nuestro medio en el momento actual. La base de conocimientos del prototipo disponible cuenta con información sobre quince enfermedades pero puede ser extendida fácilmente incluyendo otras o adicionando a cada enfermedad datos que se hayan omitido de modo que se mejore la decisión diagnóstica. La información abarca, para cada una de las enfermedades, los síntomas, las pruebas diagnósticas y las alternativas terapéuticas. Inicialmente los quince esquemas de las enfermedades en PULMONOLOGIST se consideran diagnósticos potenciales y se activan en la memoria de trabajo. El sistema comienza el proceso diagnóstico preguntando al usuario los síntomas del paciente. Se responde con SI en caso afirmativo. Si el paciente tiene menos de 50% de los síntomas probables de una

enfermedad ésta se elimina de la lista potencial de diagnósticos en la memoria de trabajo pero permanece inalterada en la base de conocimientos. Si exhibe todos los síntomas de cierta enfermedad las restantes se eliminan del estado actual de la base de conocimientos y el sistema diagnóstica aquélla con 100% de probabilidad y propone las opciones terapéuticas correspondientes. Si el paciente tiene más de 50% de los síntomas de una enfermedad se calcula un nivel confirmatorio de la misma y se proponen las pruebas diagnósticas que deben realizarse para confirmarla; por ejemplo: si presenta cinco de los siete síntomas de una enfermedad su nivel de confirmación será 71%. Se consideran las que tienen un valor más alto y se eliminan las restantes. Si dos enfermedades presentan el mismo nivel ambas se tienen en cuenta para el diagnóstico. Si el diagnóstico fue comprobado por laboratorio aumenta el nivel de confirmación de la enfermedad. Al final de la sesión la enfermedad diagnosticada se muestra con su probabilidad, los síntomas que el paciente no exhibió, las pruebas diagnósticas realizadas para confirmarla y las opciones terapéuticas recomendadas.

En resumen, en un SE el proceso diagnóstico puede dividirse en cuatro áreas generales:

1. Comunicar al sistema la información acerca del paciente; el éxito de un SEM depende en gran medida del médico que obtenga los datos para alimentarlo.
2. Comparar dicha información con la de la base de conocimientos.
3. Tomar una decisión diagnóstica.
4. Recomendar un tratamiento según el diagnóstico final.

La sesión se inicia con una introducción, como sigue (Figura N° 2)

A continuación el sistema interroga acerca de los síntomas del paciente; por ejemplo: tiene disnea (Si/No); cumplida esta etapa revela en la pantalla el listado de manifestaciones presentes (Figura N° 3) y procede a hacer diagnósticos con base en ellas y usando la información almacenada en la base de conocimientos (Figuras N° 4 y 5). El diagnóstico final se basa en los resultados de las pruebas de laboratorio y el sistema recomienda el tratamiento (Figura N° 6).

**FIGURA N° 2**

**UNA SESION INTERACTIVA  
CON PULMONOLOGIST**

Bienvenido a PULMONOLOGIST

Este sistema diagnosticará y sugerirá tratamiento para 15 posibles enfermedades pulmonares.

El usuario será interrogado en cuanto a

1. Los síntomas que el paciente exhibe
2. Las pruebas diagnósticas que se van a llevar a cabo

El paciente más probablemente tendrá la enfermedad que aparezca con el mayor porcentaje de probabilidad.

**FIGURA N° 3**

**Síntomas exhibidos por el paciente:**

- Disnea
- Tos crónica
- Dificultad respiratoria
- Sibilancias audibles
- Taquipnea
- Taquicardia
- Respiración rápida
- Abdomen prominente
- Hipoproteinemia
- Edema
- Anemia

**FIGURA N° 4**

**PRIMERA ENFERMEDAD DIAGNOSTICADA  
POR EL SISTEMA**

Enfermedad diagnosticada:

**FIBROSIS QUISTICA  
PROBABILIDAD 85%**

Lleve a cabo las siguientes pruebas diagnósticas:

- Pilocarpina - Iontoforesis - Prueba del sudor - Examen físico

FIGURA Nº 5

**SEGUNDA ENFERMEDAD DIAGNOSTICADA POR EL SISTEMA**

Enfermedad diagnosticada  
ASMA BRONQUIAL  
PROBABILIDAD 85%

Lleve a cabo las siguientes pruebas diagnósticas:  
Examen de sangre - Examen de esputo -  
RX de tórax - Examen físico

FIGURA Nº 6

**DIAGNOSTICO FINAL Y TRATAMIENTO SUGERIDO POR EL SISTEMA**

Enfermedad diagnosticada:  
FIBROSIS QUISTICA  
con probabilidad de 88%

Los síntomas ausentes son: DIABETES

TRATAMIENTO SUGERIDO:  
Consumo adecuado de proteínas  
Tabletas multivitamínicas  
Terapia física de tórax

Enfermedad diagnosticada:  
ASMA BRONQUIAL  
con probabilidad de 90%

Los síntomas ausentes son: DOLOR TORACICO

TRATAMIENTO SUGERIDO  
Agente adrenérgico para tratar el ataque agudo  
Teofilina para continuar a largo término  
Corticosteroides si todos los tratamientos han fallado  
Cromoglicato sódico para terapia de mantenimiento

**CONCLUSIONES**

1. Los SEM están en fase experimental; se requiere desarrollar máquinas y programas para lograr una mejor representación del conocimiento médico.
2. La capacidad de los SE para dar una explicación lógica de su razonamiento puede ser útil en la enseñanza médica.
3. Nunca un SE desplazará al especialista. Se debe crear una "alianza" que combine la superioridad actual del hombre con la de la máquina.

4. El uso inadecuado de esta nueva tecnología deshumaniza la relación médico-paciente y desvirtúa su verdadero valor, que es servir de soporte y ayuda en el campo médico.

5. Hay desinformación y falta de motivación en nuestro medio para desarrollar e implementar SEM, cualquiera que sea su aplicación.

**SUMMARY**

**MEDICAL EXPERT SYSTEMS**

A review on medical diagnostic systems based on computer programs (Medical Expert Systems-MES) as an application of artificial intelligence is presented. It includes a historical account, general notions, internal architecture of Expert Systems, subjects who interact with them during their development and application, as well as advantages and disadvantages. PULMONOLOGIST, a MES for differential diagnosis of pulmonary diseases, is presented as an example of the potential of this technology.

**BIBLIOGRAFIA**

1. LONG L. Introducción a la informática y al procesamiento de información. 1a ed. Méjico: Eagle Wood Cliffs, 1987: 322-323, 468-469.
2. SCHANK RC. What is IA, any way? *AI Magazine* 1989; 8: 59-65.
3. RESTREPO LG. Aclarando conceptos sobre IA. *Boletín de Asociación de Usuarios de Computadores* 1987; 56: 4-6.
4. CORREA F, ORTEGA O. Notas acerca de IA. Como uno de los resultados del proyecto de grado "Actualización en IA. (Tesis) Medellín: U de A. Facultad de Ingeniería. Dpto. de Sistemas, 1988; 106.
5. MI COMPUTER. El increíble Hulk. *Mi Computer* 1985; 8: 561-563.
6. SHURKIN J. Medical Applications. AI moves from the lab to the doctor's office. *IEEE Expert* 1986; 1: 10-12.
7. KULIKOWSKI C. Artificial intelligence in medical consultation systems: a review. *IEEE Engineering in Medicine and Biology Magazine* 1988; 7: 34-88.
8. MICOMPUTER. Mirando hacia el futuro. *Mi Computer* 1985; 9: 1.961-1.963.
9. MI COMPUTER. En el Cerebro. *Mi Computer* 1985; 8: 1.701-1.703.
10. YU VL, FAGAN LM, WRAITH SM, et al. Antimicrobial selection by a computer. A blinded evaluation by infectious diseases experts. *JAMA* 1979; 242: 1.279-1.282.

11. MILLER R, POPLE HE Jr, MYERS JD. Internist-I, an experimental computer-based diagnostic consultant for general internal medicine. *N Eng J Med* 1982; 307: 468-476.
12. GORRY GA, PAUKER SG. Capturing clinical expertise. A computer program that considers clinical responses to digitalis. *Am J Med* 1978; 64: 452-460.
13. HICKAM DH, SHORTLIFFE EH, BISCHOFF MB, et al. The treatment advice of a computer-based cancer chemotherapy protocol advisor. *Ann Intern Med* 1985; 103: 928-936.
14. MI COMPUTER. El Conocimiento. *Mi Computer* 1985; 9: 1.941-1.943.
15. ANGULO JM, BUENO AM. Inteligencia Artificial. Madrid: Paraninfo, 1986; 103.
16. MI COMPUTER. Sistemas Expertos. *Mi Computer* 1985; 8: 1.781-1.783.
17. CONTRERAS G. Estado actual de los SE. *Computerworld* 1990, Feb 28: 12-16.
18. MARINO O. Informática Educativa: Tendencias y visión prospectiva. *Boletín de Informática Educativa* 1988; 1: 11-30.
19. BOHORQUEZ JA. Sistemas Expertos. Avance tecnológico o engaño publicitario? *Computerworld* 1989, Sep 10: 21-22.
20. MI COMPUTER. Pugna generacional. *Mi Computer* 1985; 2: 468-469.
21. VASCO CE. "La metáfora del cerebro como computador en la ciencia cognitiva". Memorias del Encuentro sobre Informática Educación y Capacitación. Bogotá, Universidad Nacional de Colombia, 1987; 2-14.
22. SZOLOVITS P, PATIL RS, SCHWARTZ WB. Artificial intelligence in medical diagnosis. *Ann Int Med* 1988; 108: 80-87.
23. PAUKER SG, GORRY A, KASSIRER JP, SCHWARTZ WB. Towards the simulation of clinical cognition taking a present illness by computer. *Am J Med* 1976; 60: 981-996.
24. RIOS F. Aprendizaje. *Boletín Asociación de Usuarios de computadores* 1990; 65: 18-20.
25. MI COMPUTER. Aprender a aprender. *Mi Computer* 1985; 8: 1.801-1.803.
26. CANO GL, VARGAS CM. Algunas ideas sobre el procesamiento automático del lenguaje natural. *Boletín de Usuarios de Computadores* 1990; 65: 24-25.
27. MI COMPUTER. Hablar con naturalidad. *Mi Computer* 1985; 8: 1.841-1.843.
28. MI COMPUTER. El Factor Humano. *Mi Computer* 1985; 5: 992-993.
29. SANDERS DH. Informática: presente y futuro. Méjico: Mc Graw-Hill, 1985: 54-58 y 611-620.
30. KAR A, MILLER GE, SHEPARD SV. PULMONOLOGIST: a computer-based diagnosis system for pulmonary diseases. *Int J Bio-Medical Computing* 1987; 21: 223-235.
31. VALENZUELA DA. Inteligencia Artificial. ¿Mito o realidad? *Boletín Asociación de Usuarios de Computadores* 1990; 65: 21-22.