

# Sistemas expertos en medicina

*José Manuel de la Riva Grandal \**

*José Alfonso Delgado Gutiérrez \*\**

## RESUMEN

En este artículo se analizan las bases en las que se fundan los Sistemas Basados en el Conocimiento. Se revisan los lenguajes de programación y las herramientas de desarrollo necesarias para construir un Sistema Experto. Finalmente, se examina en amplitud el modo de operar del Sistema Experto «Digital Therapy Advisor».

## SUMMARY

In this paper we examine the fundamental basis of the Knowledge Based Systems. The Programming languages and development tools in order to create an Expert System are reviewed. Finally, «Digital Therapy Advisor» Expert System are described.

## NECESIDAD ACTUAL DE LOS SISTEMAS EXPERTOS

Son pocos, hoy en día, los que dudan del efecto beneficioso del ordenador en cualquier actividad científica y profesional, en general, y en aplicaciones médicas, en particular. Sin embargo, la informática tradicional impone fuertes limitaciones a la hora de tratar problemas médicos. Las técnicas de Inteligencia Artificial que se están desarrollando van a permitir resolver, si no en todo, al menos en gran parte, estos problemas.

En efecto, el proceso de datos tradicional se caracteriza por la resolución de problemas en donde la lógica del proceso es perfectamente conocida; es decir, existe una teoría bien consolidada y un método de resolución conocido que conducen a la solución a través de un proceso sistemático; automatiza una parte de nuestro proceso del conocimiento mediante programas secundarios, en su mayor parte salpicados por procedimientos iterativos.

Esta técnica tradicional durante décadas ha tenido cierto éxito en la resolución de problemas específicos, pero ha fracasado cuando se la ha intentado aplicar a la automatización del razonamiento humano.

Los seres humanos están bien dotados para resolver problemas en ambientes inciertos, en los que el grado de certi-

dumbre en los procedimientos es bajo, no existen algoritmos tradicionales o si existen, no es viable operar con ellos por existir una excesiva combinatoria, que nos supondría un tiempo de proceso y de respuesta, extremadamente elevados.

Para imitar el razonamiento humano es necesario construir un tipo de sistemas de información, donde la estructura tenga conocimiento variable, es decir, donde a la lógica se la trata también como un dato.

## EVOLUCION HISTORICA DE LA ARQUITECTURA DE LOS SISTEMAS DE INFORMACION

Es interesante recoger la idea de Sowa (1984) referente a la distinta forma evolutiva en que se estructuran los sistemas de información y que finalizan en los Sistemas Basados en el Conocimiento.

En los primeros tiempos de la Informática, los sistemas se caracterizaban por una estructura como la que se indica en la fig. 1. El programa contenía no sólo el conocimiento y los procedimientos que hacen uso de él, sino también las informaciones sobre la forma de comunicación con el usuario y la forma de acceder a los datos. Esta concepción estructural plantea doble problema: las modificaciones en la estructura de datos

y en el protocolo de comunicación con el usuario exigen la corrección en el programa, que repercute en la totalidad del sistema.

Para evitar este problema se concibió un nuevo nivel estructural en los sistemas de formación, que consistió en introducir dos módulos: Entrada/Salida (E/S) y Sistema Gestor de Base de Datos (SGBD), como se indica en la fig. 1.

El módulo E/S quedaba definido a través de la descripción de fórmulas e independizaba al programa del usuario.

El módulo SGBD independiza a la Estructura de Datos del Programa.

Con esta configuración se podía modificar la Estructura de Datos y la Comunicación con el usuario sin modificar el Programa. No obstante, este sistema todavía mantenía una debilidad: las modificaciones del conocimiento implicaba un cambio en el programa.

Para dar respuesta a este inconveniente, surge la actual arquitectura de los sistemas expertos, en la que se independiza el conocimiento del procedimiento tal como indica la fig. 1.

En esta estructura podemos distinguir tres conjuntos básicos:

a) *La Base de Hechos o base de datos, que contiene el conocimiento declarativo a nivel de datos sobre el estado del sistema en cada instante.*

b) *La Base de Conocimientos, formada por conocimientos específico y*

### ARQUITECTURA DE LOS SISTEMAS EXPERTOS

Un sistema experto es un sistema informático cuya arquitectura responde a la representada en la fig. 2, y mediante la que alcanza los siguientes objetivos:

- Representar el conocimiento de una persona experta sobre un tema de forma accesible y modificable.
- Utilizar esta representación mediante un proceso general para:
  - Producir respuestas sobre los temas objeto del sistema.
  - Explicar esta respuesta a demanda del usuario.

La Representación del Conocimiento es hoy en día la principal preocupación que subyace en la programación del conocimiento. Se han estudiado amplia-

mente los formalismos para la representación de muchas clases de información en muy diferentes áreas temáticas, sin embargo, actualmente es un hecho aceptado que están consolidadas tres líneas de representación del conocimiento.

1. Sistema basado en Regla de producción.
2. Sistema basado en Marcos.
3. Sistema basado en Redes Semánticas.

Por razones de espacio sólo vamos a tratar la primera.

### SISTEMA BASADO EN REGLA DE PRODUCCION

La arquitectura de un Sistema Experto basado en reglas de producción se indica en la fig. 2.

procedimental acerca de los problemas en el que el sistema es experto.

c) El Motor de Inferencia, que es el sistema de control de sistemas de información.

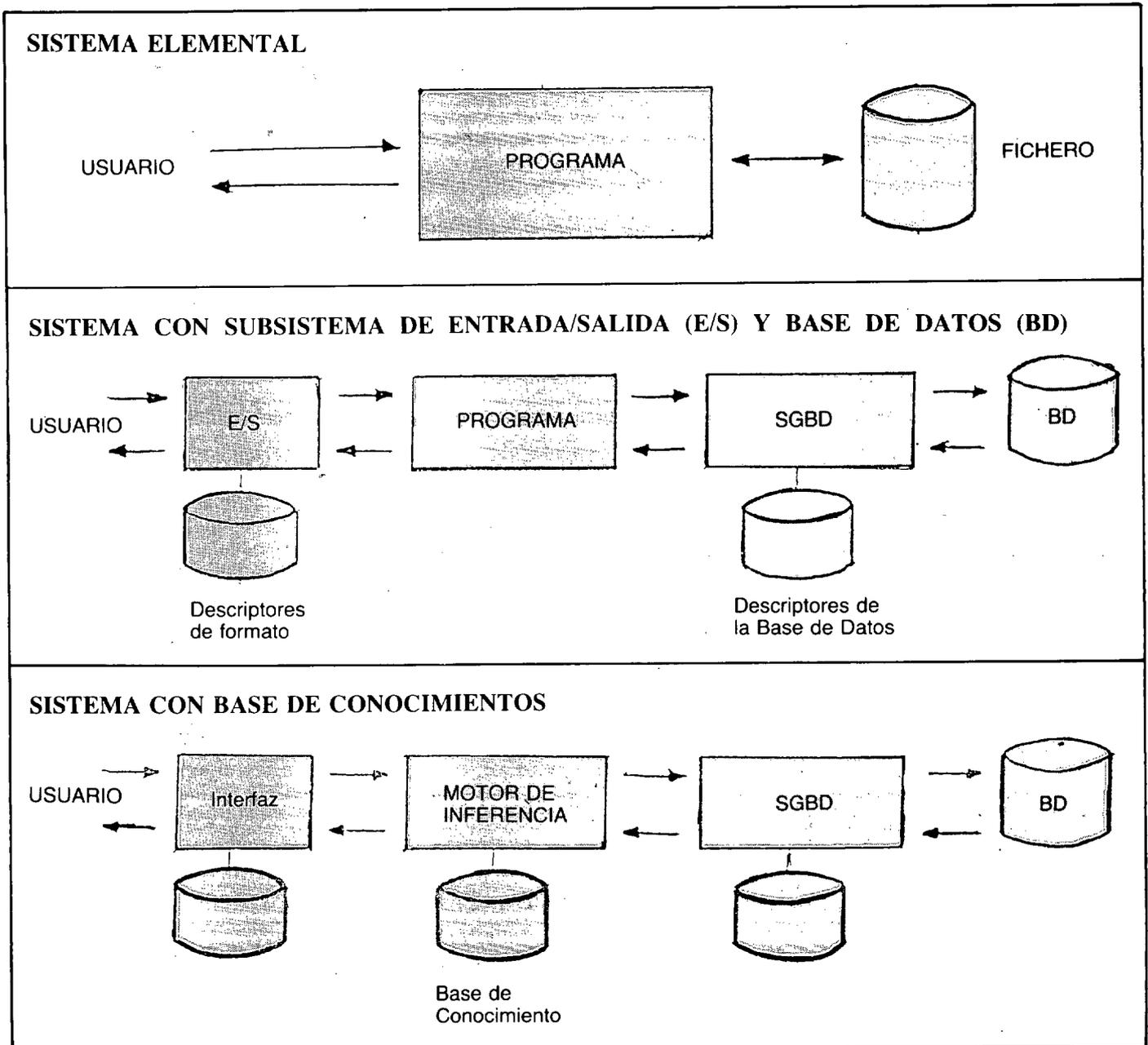


FIGURA 1. EVOLUCION DE LAS ESTRUCTURAS DE LOS SISTEMAS DE INFORMACION

blema particular que en un momento dado se intenta resolver y sobre el estado del sistema en cada instante.

**Módulo de explicaciones:** Tiene como misión dar explicaciones al usuario de cómo se han logrado los resultados obtenidos. Una vez que se ha conseguido una conclusión aceptable, el usuario puede demandar del sistema el procedimiento lógico que ha seguido para llegar a la solución presentada.

No todos los sistemas expertos actuales disponen de un módulo de adquisición del conocimiento, cuya misión es mediante un trabajo interactivo con el usuario, adquirir nuevos conocimientos a través de su experiencia cotidiana.

### Dinámica de un Sistema Experto basado en reglas de producción

La dinámica de funcionamiento de un SE tiene las siguientes etapas:

1. *El motor de inferencia obtiene de la Base de Conocimiento el conjunto de*

*reglas de producción, tales que el estado en curso de la memoria de trabajo satisfice el patrón antecedente de la regla. Esta operación la realiza mediante el mecanismo de matching o cooperación del contenido de la memoria de trabajo con la regla de producción.*

2. *El motor de inferencia o Intérprete selecciona una regla del conjunto de reglas obtenidas anteriormente aplicando una estrategia de resolución de conflictos.*

3. *El motor de inferencia dispara la regla seleccionada, aplicando la acción del consecuente de la regla elegida a la memoria de trabajo, generando un nuevo estado en la Base de hechos.*

4. *Si el nuevo estado de la memoria de trabajo satisfice la condición, "FIN", y si no vuelta a la etapa 1.*

### CONSTRUCCION DE UN SISTEMA EXPERTO

Es bastante arriesgado proyectar la construcción de un Sistema Experto, en

**Base de Conocimientos:** Incorpora una representación de los hechos conocidos y deducibles, descriptivos sobre el tema a estudiar.

En este sistema la base de conocimiento contiene el saber del experto en forma de regla de producción del tipo:

*SI (Condición)      ENTONCES (Acción)*

En donde la Condición describe la situación en la que puede aplicarse la regla y la Acción el efecto a que dará lugar.

**El motor de Inferencia:** Es el mecanismo de control del sistema basado en el conocimiento, está encargado de seleccionar, interpretar y, finalmente, aplicar las reglas a los objetos presentes en la memoria de trabajo (para que una regla pueda aplicarse es necesario que parte de la memoria de trabajo coincida con parte de la regla).

La selección de una regla puede ser una operación conflictiva, pues puede darse el caso que varias reglas sean susceptibles de ser aplicadas en un momento dado. Por ello, los motores de inferencia deben estar dotados de una estrategia de selección de reglas. Los criterios más comunes que se utilizan son los siguientes:

- Ejecutar la primera regla que se satisfaga.*
- Considerar la regla más recientemente utilizada.*
- Seleccionar las reglas más específicas.*
- Aplicar todas las reglas.*

La interpretación de las reglas puede hacerse de dos modos:

- Encadenamiento hacia atrás.*
- Encadenamiento hacia delante.*

En el encadenamiento hacia atrás u orientado por objetivos, el sistema comienza estableciendo una hipótesis (objetivo a demostrar) y busca reglas que permitan concluir las.

El encadenamiento hacia delante consiste en partir de los hechos iniciales e ir aplicando las reglas hasta tratar de deducir la conclusión.

**La memoria de trabajo:** Contiene los datos o conclusiones inferidas hasta el momento. Es decir, el conocimiento declarativo a nivel de datos sobre un pro-

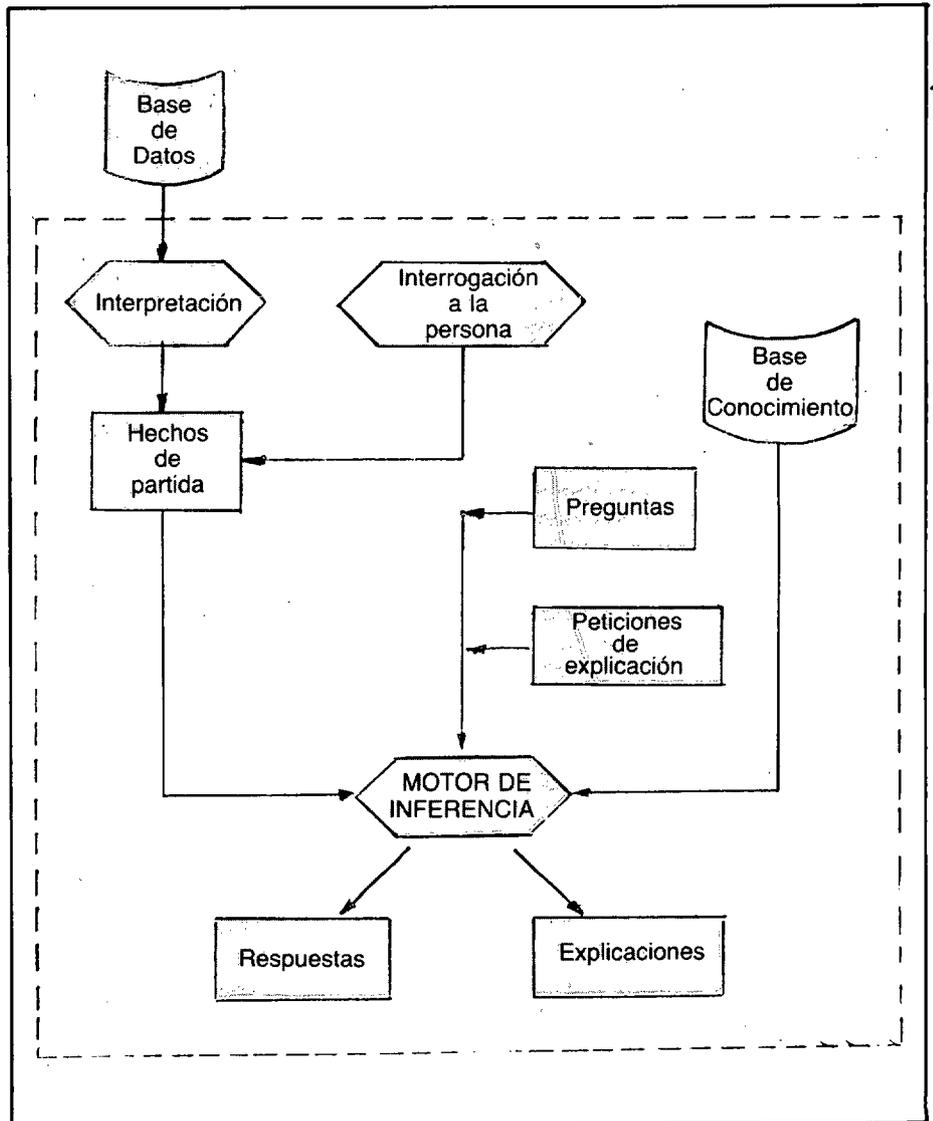


FIGURA 2. ARQUITECTURA DE UN SISTEMA EXPERTO

un área concreta, sin haber calculado previamente la viabilidad del mismo. No todas las tareas del conocimiento son susceptibles de poder ser implementadas en un Sistema Experto.

Las características básicas que debe reunir el área-problema son:

a) *En el problema a estudio debe de primar el componente de razonamiento sobre el de cálculo.*

b) *El nivel de complejidad del problema debera ser de tipo medio, con el fin de que el dominio del discurso sea limitado.*

c) *Si existe un método algorítmico que pueda resolver el problema, su aplicación nos debe llevar a una explosión combinatoria.*

d) *El Sistema Experto estará basado en un conocimiento que sea susceptible de poderse añadir de un modo incremental.*

Además de estas limitaciones técnicas, existen otras de índole económico que imponen restricciones a la elección del área de aplicación del Sistema Experto, estas son:

a) *Aplicaciones con fuerte dependencia de personal especializado o experto.*

b) *Elevado coste, dada la escasez de personal.*

c) *Fuertes inversiones.*

Una vez que se ha seleccionado el área-problema, hay que elegir el experto humano, el cual debe cumplir los siguientes requisitos:

1. *Ser una autoridad en la materia.*
2. *Tener conocimientos informáticos básicos.*
3. *Tener facilidad de expresión.*
4. *Disponer de tiempo.*

Finalmente, está la figura del Ingeniero del Conocimiento, el cual tiene dos misiones fundamentales.

a) *Extraer el conocimiento empírico del experto.*

b) *Instrumentar o implementar el conocimiento.*

Antes de extraer el conocimiento del experto, es necesario dar un paso previo, cual es disponer del experto. Esta fase es de una importancia capital para la existencia futura del proyecto. Se puede afirmar que sólo han sido operativos aquellos Sistemas Expertos que fueron

concebidos con la ayuda de expertos muy cualificados y de alto nivel en el tema en cuestión.

Una vez que el especialista humano haya aceptado el desafío, el ingeniero del Conocimiento deberá sumergirse en su campo a través de libros universitarios, artículos y otro contenido con el fin de adquirir un conocimiento básico y un conocer el lenguaje o argot del experto.

En la siguiente fase, a través de conversaciones entre el experto humano y el ingeniero del Conocimiento, se establece un lenguaje de comunicación que facilita a ambos el intercambio de conocimiento. Más tarde se selecciona un problema no trivial para construir un prototipo. Posteriormente, el ingeniero de Conocimiento debe de seleccionar la Herramienta de Desarrollo más adecuada y el sistema de Representación del Conocimiento. Una vez construido el prototipo se le somete a la crítica de otros expertos humanos ajenos al proyecto. Realizadas las críticas por los expertos humanos, se incorporan las mismas al prototipo. En la fase siguiente se incrementa la Base de Conocimiento y finalmente se obtiene un prototipo básico listo para ser utilizado por los usuarios.

#### LENGUAJES DE PROGRAMACION Y ENTORNOS DE PROGRAMACION DE SISTEMAS EXPERTOS

Ya hemos dicho anteriormente que una de las misiones más importantes del Ingeniero del Conocimiento es la elección del lenguaje y Herramienta de Desarrollo del Sistema Experto.

Entre los lenguajes de IA destacan: LISP, Prolog y OPS.

El LISP (List Programming) es un lenguaje de programación creado por J. McCarthy a finales de los cincuenta. Como su nombre indica, trabaja con estructura de datos de tipo lista. Durante muchos años el LISP fue soportado únicamente por la comunidad científica americana, lo cual dio lugar a numerosos dialectos, propiciado por la facilidad que ofrece el LISP para extenderse a través de la definición de Funciones. Todos estos dialectos se fueron asentando en torno a dos: a) INTERLISP, desarrollado en la costa Oeste de EE.UU. y apoyado por XEROX, que permite trabajar de modo interactivo; b) MAC-LISP, desarrollado en la costa Este y soportado por MIT y Carnegie-Mellon con orientación a cálculo científico.

Con la incorporación del LISP en el desarrollo de sistemas de Inteligencia Artificial, se produjo en 1977 dos hechos significativos:

a) *El MIT desarrolló un chip con las funciones básicas de LISP, que dio lugar*

*a una línea específica de ordenadores, conocida como «Máquinas LISP».*

b) *A finales de los 70, el Departamento de Defensa de EE.UU. promueve la estandarización del lenguaje, definiendo un conjunto de normas en torno a un lenguaje único COMMONLISP, que fue adoptado por todas las firmas importantes, fabricantes de ordenadores.*

Hoy en día, nos hayamos en la quinta generación de máquinas LISP y Texas Instruments y MIT están tratando de desarrollar un chip que incluya todas las funciones LISP.

EL Prolog (Programming Logic), a diferencia del LISP, fue concebido expresamente como lenguaje de programación lógica aplicada a técnicas de Inteligencia Artificial. La primera versión de Prolog se produjo en 1970 como consecuencia de los trabajos de Colmerauer, Roussel y Kowalsky. Estos autores estaban tratando de diseñar un lenguaje de programación que, basado en el cálculo de predicados, facilitase los problemas que generaban la comprensión del lenguaje natural. Posteriormente, en 1977, Warren, de la Universidad de Edimburgo, desarrolló el primer compilador de Prolog. En 1979 el SZKI (Instituto Húngaro para la coordinación de Ordenadores) implementa una versión nueva de Prolog, llamada MPROLOG (Modular Prolog). En 1982, los japoneses anunciaron al mundo su proyecto de sistemas de ordenadores de la quinta generación, eligiendo como lenguaje de programación una versión de MPROLOG.

El lenguaje OPS fue creado por Charles L. Forsy, de la Universidad Carnegie-Mellon, a finales de 1970, para la construcción de sistemas expertos basados en reglas y cuyo motor de superación tuviera razonamiento hacia delante y hacia atrás. Es por esto por lo que a OPS no se le considera como un lenguaje de propósito general, como sucede con LISP o Prolog. Las versiones de OPS están escritas en dialecto LISP.

En estos tres lenguajes se basan la mayoría de las Herramientas de Desarrollo que existen en el mercado. Mediante ellas se facilita extraordinariamente la construcción de un sistema basado en el conocimiento. Las herramientas que integran los entornos de programación tienen como objetivo ayudar a la producción industrial del Sistema Experto, en el sentido de obtener productos eficientes, robustos y fiables, elaborados con el menor coste posible y en el tiempo más corto. El conjunto de utilidades que componen un Entorno de Programación tienen como objetivo básico asistir al programador a lo largo del ciclo de desarrollo de un programa.

El impacto industrial de los Sistemas Expertos ha sido una de las causas determinantes para el desarrollo de entornos específicos orientados a la construc-

ción de dichos sistemas. Las herramientas que los integran no difieren sustancialmente de las existentes en los entornos clásicos de Inteligencia Artificial (editores, trazadores, depuradores), aunque algunas de ellas han sido simplificadas y adaptadas especialmente (editores de reglas, editores guiados por comparación, etcétera), pero otras son de nueva creación (sistemas de vigilancia de aplicación de reglas, sistemas de

explicación, trazadores de inferencias, etcétera).

Los diferentes entornos se diferencian entre sí por dos características fundamentales: la forma de representación del conocimiento y el modo de realizar el proceso de inferencia. Estos dos factores determinan las herramientas que integran los entornos correspondientes. Se distinguen dos categorías de entornos: la clásica y la de propósito general, según

## HERRAMIENTAS DE DESARROLLO DE SISTEMAS EXPERTOS

### EXPERT:

Fue desarrollado en 1979 por Weiss y Kulikowski, de la Universidad de Ruggers, a partir del CASNET. Es un sistema de inferencia básica con razonamiento hacia atrás. La Base de Conocimientos posee editores de reglas. El interfaz con el Sistema Operativo está hecho con procedimientos. Se utiliza para aplicaciones médicas y en la exploración petrolífera.

### EMYCIN:

Fue desarrollado en 1980 por Von Helle, de la Universidad de Standford, a partir del MYCIN. Es un sistema de inferencia básica con razonamiento hacia atrás y dispone de metarreglas. La Base de Conocimientos posee editores de regla. Está dotado de un módulo de depuración parcial. Es apropiado para sistemas que analizan o interpretan. Se utiliza en la construcción de PUFF y SACON.

### ROSIE:

Fue desarrollado por Rand Corporation. Es un sistema de inferencia básica de propósito general. La Base de Conocimientos permite la estructuración de objetos y posee editores de reglas. El motor de inferencia tiene razonamiento hacia atrás. El interfaz con el Sistema Operativo a través de procedimientos.

### KAS:

Fue desarrollado por SRI International. Es un sistema experimental de adquisición del saber que crea, modifica o borra varios tipos de redes de reglas que estarán representadas en el sistema PROSPECTOR. La Base de Conocimientos admite estructuración de objeto y posee editores de reglas. El motor de inferencia tiene razonamiento hacia adelante y hacia atrás. El interfaz con el Sistema Operativo, a través de procedimientos. La validación por trazos tiene una consistencia parcial. Es apropiada para desarrollar sistemas de diagnóstico y explicación.

### AGE:

Fue desarrollado en la Universidad de Standford. Es un sistema que guía el desarrollo de sistemas especializados en la formación de hipótesis y la fusión de la información. Esta construido bajo LISP. La Base de Conocimientos admite la estructuración de objetos y posee editores de reglas. El motor de inferencia tiene razonamientos hacia adelante y hacia atrás. El interfaz con el Sistema Operativo, a través de procedimientos. El módulo de validación, mediante trazos.

### OPS5:

Fue desarrollado en la Universidad Carnegie-Mellon. Es un sistema de inferencia básica con razonamiento hacia adelante. El interfaz con el Sistema Operativo, a través de procedimientos. La validación, mediante trazos. Ha sido utilizado, entre otros, para la construcción de (X CON) y AIRPLAN.

### S1:

Fue desarrollado por Teknowledge Inc. Es un paquete completo de software para desarrollar aplicaciones prácticas de gran escala. La Base de Conocimientos posee editores de reglas. El motor de inferencia tiene razonamiento hacia adelante. El módulo de validación es mediante trazos y con consistencia parcial.

### INTERLISP:

Desarrollado por ISI en la Universidad de Suthern California. Está escrito en LISP. Es un programa integrado que soporta extensiones sintácticas, manejo uniforme de errores, corrección automática de errores, editores estructurados, depuradores sofisticados y compiladores.

### LOOPS:

Desarrollado por Xerox. Es una extensión del entorno de programación INTERLISP-D. Es un sistema experimental de representación del saber. La Base de Conocimiento admite la estructuración de objetos y posee editores de reglas. El motor de inferencia tiene razonamiento hacia adelante y hacia atrás, y metarregla. El interfaz con el Sistema Operativo tiene procedimientos y gráficos. La validación es mediante trazos y tiene consistencia parcial.

### KEE:

Desarrollado por INTELLICORP. Es un entorno de programación en Ingeniería del Conocimiento. La Base de Conocimiento admite estructuración de objetos (marcos) y posee editores de regla. El motor de inferencia tiene posibilidad de metarregla y tiene razonamiento hacia adelante y hacia atrás. El interfaz con el Sistema Operativo admite procedimiento y tiene gráficos interactivos. La validación se hace mediante trazos y la consistencia es parcial.

### ART:

Desarrollado por Inference Co. La Base de Conocimiento admite la estructuración de objetos y posee editores de regla. Está escrito en LISP.

### K. CRAFT:

Desarrollado por Carneige Group. Inc. Entorno de programación de Ingeniería de Conocimiento. Incluye OPS5 y Prolog. Tiene editores basados en el conocimiento y facilidades gráficas poderosas y un sistema gestor de Base de Datos.

### KS-300:

Desarrollado por Teknowledge Inc. Es un sistema comercial de inferencia básica para el diagnóstico industrial y de aplicaciones de asesoramiento.

el tipo de conocimiento, y la de facilidades de control que el entorno proporciona al usuario. Los entornos clásicos permiten al usuario la construcción de un Sistema Experto concreto, definiendo el conjunto de reglas y hechos que configuran el dominio de conocimiento del experto. Los entornos de propósito general provienen de herramientas más generales, que han sido adaptadas para la construcción de Sistemas Expertos; permite al usuario una mayor flexibilidad en la expresión del control del sistema, pero su utilización en la construcción de un Sistema Experto concreto es más laboriosa.

### LIMITACIONES DE LOS SISTEMAS EXPERTOS

Según B. Buchanan, miembro del Proyecto de Programación Heurística de la Universidad de Standford, las limitaciones más corrientes que sufren los sistemas expertos son las siguientes:

a) *Dominio estrecho del sistema experto. Esto es debido a que el mantenimiento de una gran base de conocimientos es difícil. Solamente muy pocos Sistemas Expertos (por ejemplo INTERNIST I) cubren un rango significativo de conocimiento.*

b) *Representación del conocimiento limitado. Cierta clase de conocimiento, en particular aquel que se haya fuera del sistema SI-ENTONCES, puede ser bastante difícil de representar.*

c) *Utilización de un lenguaje relativamente estilizado para la descripción de problemas por parte del usuario.*

d) *Limitadas y estilizadas explicaciones sobre el modo de razonar del Sistema Experto.*

e) *Construcción laboriosa. Hasta ahora, el ingeniero del Conocimiento debe extraer el conocimiento del experto humano y construir de un modo laborioso la Base de Conocimientos. Sólo en muy pocos Sistemas Expertos (Teiresias) existe un módulo de adquisición del conocimiento, mediante el cual el experto humano puede añadir directamente información a la Base de Conocimientos.*

f) *Necesidad de un experto humano*

*principal. Aunque varios expertos humanos pueden contribuir a la construcción de un Sistema Experto, debe existir uno que mantenga el control, para evitar inconsistencias y conocimientos solapados, y de esta forma asegurar la calidad de la Base de Conocimientos.*

g) *Problema en los límites de conocimiento. Muchos Sistemas Expertos no tratan bien problemas que se encuentran en los límites de su conocimiento. Esto es debido a que carecen de conocimiento para conocer cuándo su problema está más allá de sus capacidades y fuera de su campo; como resultado de esto se obtienen respuestas equivocadas.*

h) *Necesidad que el Sistema Experto lo maneje el ingeniero del Conocimiento. A menudo sólo los que construyen el Sistema Experto están capacitados para operar con el Sistema Experto con éxito y sólo es posible extraer alguna solución. La gran mayoría de los sistemas desarrollados no tiene interfaces «amigables» con el usuario.*

### SISTEMAS EXPERTOS EN MEDICINA

Dos técnicas de control están actualmente conmocionando el mundo hospitalario: los Sistemas Expertos y los Grupos de Diagnóstico Relacionados. Ambas técnicas tienen en común el formalizar y racionalizar el diagnóstico médico. La primera tiene como objetivo la salud del paciente a través de la buena práctica (diagnóstico y tratamiento); la segunda técnica, a través de la contención del gasto sanitario. Aquí nos vamos a centrar en la aplicación de los Sistemas Expertos en la Ciencia de la Salud.

Es curioso comprobar que ya en los albores del desarrollo de los Sistemas Expertos, los investigadores en Inteligencia Artificial ya tenían una especial preferencia por los temas médicos, interés que se ha mantenido hasta nuestros días. (Como se demuestra en la tabla 2.)

Entre las razones que se nos ocurren para explicar dicho fenómeno, están la creciente especialización de los médicos y la multiplicación de las técnicas de análisis, diagnóstico y tratamiento. Todo ello ha hecho que profesionales de la medicina se sientan abrumados por el cúmulo de datos que tienen que manejar para realizar su tarea con éxito.

Con el fin de ayudar en la toma de decisiones y facilitar la labor del médico, se han ido introduciendo en los hospitales sistemas de información especializados en tareas concretas.

Lógicamente, se han alzado algunas críticas a esta nueva tecnología por parte de algún sector del estamento médico, temerosos de posibles desplazamientos

en sus puestos de trabajo por parte de estos sistemas. Sin embargo, conviene aclarar que los Sistemas Expertos, ya en su concepción, fueron diseñados exclusivamente con el fin de eliminar al médico la tarea tediosa y rutinaria, permitiéndole de este modo tener más tiempo para realizar actividades realmente intelectuales.

Por otra parte, los Sistemas Expertos aparecen como una herramienta de promoción para el médico, no sólo en la etapa de desarrollo del prototipo, sino en las sucesivas etapas de incremento del conocimiento del sistema.

Además, nadie discute la utilidad de los Sistemas Expertos en la enseñanza médica, que permite tanto al estudiante como al médico no especialista adquirir o reciclar conocimientos.

También está fuera de toda duda las ventajas que prestan los Sistemas Expertos en regiones geográficas deprimidas o remotas, que carecen tanto de médicos especialistas o de Medicina Primaria.

Con el fin de conocer mejor el funcionamiento y utilidad de los Sistemas Expertos en Medicina, vamos a analizar con cierta atención el Sistema Experto «Digital Therapy Advisor».

### DIGITAL THERAPY ADVISOR

El empleo de glucósidos cardíacos en el tratamiento de la insuficiencia cardíaca congestiva y en arritmias cardíacas conlleva un riesgo sustancial. Entre todos los enfermos que reciben este fármaco se registra una toxicidad digitalica en el 20 por 100; entre estos enfermos con toxicidad digitalica la mortalidad se aproxima al 30 por 100. Aunque los cardiólogos experimentados suelen poder alcanzar una incidencia muy inferior de episodios tóxicos, los médicos con menor experiencia se pueden encontrar con esta incidencia elevada, en especial cuando tratan a enfermos hospitalizados con cardiopatías graves. En un esfuerzo por resolver este problema, los médicos han comenzado a utilizar cada vez con mayor frecuencia las determinaciones de los niveles séricos de distintos fármacos. Puesto que la respuesta del enfermo a la digital es extremadamente variable, se ha puesto en duda la utilidad de la determinación de los niveles séricos a pesar de que existen estudios que han demostrado una menor incidencia de toxicidad digitalica cuando se puede disponer de la determinación de dichos niveles.

Un segundo enfoque del problema de la reducción de la toxicidad digitalica ha sido el planear programas de ordenador con procedimientos de toma de decisión para ayudar al médico. El primer programa de ordenador empleaba un

Ambos programas proporcionan al médico un modelo farmacocinético, y se ha demostrado que su empleo disminuye la incidencia de toxicidad digital. Sin embargo, otros estudios han demostrado que muchos casos de toxicidad digital no están relacionados con una función renal deteriorada, y que, por consiguiente, este problema no se soluciona mediante el empleo de dicho modelo.

Los principios centrales en los que se fundamenta el programa «Digital Therapy Advisor» se obtuvieron de cardiólogos expertos, tanto de sus reflexiones sobre las estrategias terapéuticas como de la observación de su forma de actuar al tratar a sus propios enfermos o cuando se les pedía consulta por parte de otros médicos. El dato más importante en este sentido fue que cuando empleaban un modelo farmacocinético siempre estaba inmerso dentro de un sistema de conocimientos relacionados con las características clínicas, que hacían necesario introducir una serie de ajustes para conseguir dicho modelo. La valoración de la sensibilidad del enfermo a la digital incluye los índices metabólicos (por ejemplo, el potasio sérico), la situación del miocardio (por ejemplo, la presencia de isquemia), la función renal, la superficie corporal y la edad.

#### **Funcionamiento del programa prototipo: Digital Therapy Advisor**

El modelo farmacocinético empleado por el programa es de un solo compartimento de cinética de primer orden, en el que están especificadas las vías de excreción renales y no renales.

El programa se utiliza en general en una serie de «secciones», que permiten al médico describir la situación clínica evolutiva, lo cual a su vez hace que el programa pueda establecer una serie de recomendaciones ante estos cambios de situación. El programa puede proporcionar consejos al médico, sobre aquellos enfermos que ya se les haya administrado anteriormente el fármaco. La sesión inicial permite que el programa trace un modelo específico de enfermo sobre las respuestas que cabe esperar del paciente, problema ante la digital y sobre la farmacocinética del mismo. A medida que se va clasificando la situación clínica, este modelo permite que el programa establezca predicciones sobre las respuestas clínicas del enfermo. Si la situación clínica sufre variaciones importantes, se puede modificar el modelo (en sesiones de consulta subsiguientes sobre el mismo enfermo) para reflejar el nuevo cuadro clínico.

El médico inicialmente proporciona al programa la información sobre el cua-

dro clínico del paciente. Si se vuelve a consultar posteriormente sobre el mismo enfermo, consulta los datos anteriores en sus registros y pide únicamente los datos adicionales que puedan haberse modificado o que puedan haberse visto influidos por el tratamiento. Solicita datos de laboratorio para responder a preguntas con múltiples elecciones (para datos cuantitativos). Si no se le pueden suministrar dichos datos, se supone que los valores en cuestión son normales, a menos que alguna otra de las informaciones suministradas haga probable lo contrario.

#### **Creación del modelo inicial específico de enfermo**

— **Propósito.** El programa pide en primer lugar que el médico especifique el fin del tratamiento con digital.

— **Ritmo.** El programa solicita entonces información sobre el ritmo cardíaco. Estos datos sirven para caracterizar el modelo y forma la base con la que posteriormente se compararán los ritmos inferiores.

— **Insuficiencia cardíaca congestiva.** El programa, a continuación, pide datos sobre las manifestaciones de la insuficiencia cardíaca. Esta información se encuadra en tres categorías: 1), síntomas subjetivos (por ejemplo, disnea, ortopnea); 2), signos físicos objetivos (por ejemplo, peso corporal, estertores), y 3), datos objetivos de laboratorio (por ejemplo, alteraciones radiográficas, capacidad vital). Estos datos clínicos forman la base a partir de la cual el programa planeará la respuesta terapéutica del enfermo al efecto inotrópico de la digital.

— **Empleo anterior de la digital.** El programa también solicita información sobre el tratamiento previo del enfermo con glucósidos cardíacos. Esta información se utiliza para valorar los depósitos corporales actuales del enfermo.

— **Sensibilidades específicas del enfermo.** A continuación, el programa trata de identificar la presencia de alguna característica clínica que pueda influir sobre la respuesta del enfermo ante unos depósitos corporales especiales del digital (por ejemplo, un infarto de miocardio, hipoxemia).

— **Función renal.** Si es necesario conseguir la digitalización de una forma rápida, la función renal tiene una influencia escasa sobre el esquema a emplear, pero sí influye sobre el cálculo de las dosis de mantenimiento.

— **Ritmo de digitalización.** El médico especifica el ritmo de digitalización, pero el sistema le puede aconsejar un ritmo diferente como preferible para un enfermo determinado. En general, el

modelo cuantitativo de farmacocinética de la digital para formular una recomendación de las dosis, basada en el peso del enfermo, función renal, día de administración y depósitos corporales del fármaco (estimación de la cantidad de fármaco presente en el organismo), calculada a partir de la cantidad administrada antes de la «consulta». El programa se planeó originariamente para ser empleado en enfermos sin una sensibilidad aumentada a los efectos tóxicos de la digital, pero posteriormente se ha extendido para incluir en él a los pacientes con hipotasemia. El programa proporciona al médico información acerca de la relación general entre los niveles de los depósitos corporales del fármaco y la incidencia de toxicidad. El médico debe seleccionar una cifra a conseguir, en cuanto a depósitos corporales se refiere, basada en dicha información, así como debe expresar sus sospechas sobre cualquier sensibilidad no habitual que pueda tener el enfermo a los glucósidos digitales. El programa proporciona un cálculo inicial de la dosis de digitalización y de mantenimiento y va modificando el plan a medida que se van produciendo variaciones en los parámetros de su modelo farmacocinético (por ejemplo, dependiendo de la función renal). Desgraciadamente, el programa no monitoriza los efectos clínicos tóxicos y terapéuticos del fármaco ni modifica sus sugerencias basándose en los mismos.

Un paso importante hacia la eliminación de estos problemas se dio cuando otros investigadores planearon un programa que empleaba el control retroactivo para calcular las necesidades de administración del fármaco. Este programa utilizaba los niveles séricos de digoxina conseguidos con la dosis inicial para calcular las siguientes dosis del mismo. Repetía el proceso de cálculo y reajuste; es decir, el asa de control retroactivo, hasta que los niveles séricos se estabilizaban a unos valores especificados por el médico. Aunque las pruebas preliminares indicaban que el empleo de la retroactividad mejoraba el rendimiento del programa, esto tenía también sus limitaciones que dificultaban su utilidad clínica.

programa intenta digitalizar al enfermo lentamente, dando tiempo para la detección y corrección de las respuestas tóxicas.

— **Plan inicial.** Basándose en el propósito del tratamiento, el ritmo cardíaco y las sensibilidades específicas del en-

fermo, el programa establece unos fines en cuanto a depósitos corporales, ajustados para la masa corporal magra calculada a partir de los datos actuales de peso y talla del paciente. Recomienda entonces las dosis de digitalización y mantenimiento calculadas para conse-

## SISTEMAS EXPERTOS EN MEDICINA

### AI/COAG:

Desarrollado por la Facultad de Medicina de la Universidad de Missouri. Diagnostica el grado de hemostasia.

### AI/MM:

Desarrollado en la Universidad de Standford. Es un programa de demostración que analiza y explica la conducta de la fisiología renal.

### AI/RHEUN:

Desarrollado por la Facultad de Medicina de la Universidad de Missouri. Realiza diagnosis de enfermedades del tejido conectivo en la clínica reumatológica.

### ANGY:

Desarrollado en la Universidad de Pennsylvania. Realiza la estenosis de los vasos coronarios a través de angiogramas.

### ANNA:

Desarrollado en el MIT. Realiza el análisis de la dosificación de Digital en pacientes con problemas cardíacos.

### ARAMIS:

Desarrollado por la Asociación Americana de Reumatología. Es un prototipo que valora la primera consulta de pacientes con enfermedades reumáticas.

### ATTENDING:

Desarrollado por la Facultad de Medicina de la Universidad de Yale. Instruye a estudiantes en medicina y en anestesia.

### BABY:

Desarrollado por la Universidad de Illinois. Realizada la monitorización de recién nacidos en la unidad de cuidados intensivos.

### BLUE BOX:

Desarrollado en la Universidad de Standford. Aconseja sobre la selección de la terapia más adecuada para pacientes con depresión.

### CASNET/GLAUCOMA:

Desarrollado por la Universidad de Standford en 1976 por Storflif. Realiza el diagnóstico y tratamiento del glaucoma.

### CENTAUR:

Desarrollado por la Universidad de Standford. Interpreta los diagnósticos de la pruebas de función pulmonar.

### CLOT:

Desarrollado por Bennet y Goldman en 1980, en la Universidad de Standford. Diagnostica los desórdenes en el sistema de coagulación sanguínea.

### DIAGNOSER:

Desarrollado en la Universidad de Minnesota. Diagnostica enfermedades congénitas del corazón, en particular la conexión total.

### DIALYSIS THERAPY ADVISOR: (Desarrollado en el MIT):

Aconseja sobre la terapia apropiada de Digital para el tratamiento de insuficiencia cardíaca congestiva o trastornos en la conducción cardíaca.

### DRUG INTERACTION CLINIC:

Desarrollado por el Polytechnic Institute. Aconseja sobre la administración de fármacos en presencia de otras drogas.

### EEG ANALYSIS SYSTEM:

Desarrollado por la Universidad de Vanderbilt. Realiza análisis de encefalogramas previamente registrados a enfermos renales.

### EMERGE:

Desarrollado en UCLA. Es un prototipo que realiza diagnóstico de dolores de pecho.

### EXAMINER:

Desarrollado por la Universidad de Pittsburgh. Analiza el comportamiento de los facultativos en el diagnóstico de casos de medicina interna.

### GALEN:

Desarrollado por la Universidad de Minnesota. Realiza diagnósticos de enfermedades congénitas de corazón en niños.

### GUIDON:

Desarrollado en la Universidad de Standford. Instruye para seleccionar la terapia antibacteriana en infecciones hospitalarias.

### HDDSS:

Desarrollado en el MIT. Selecciona la terapia adecuada para el mal de Hodgkin.

### HEADMED:

Desarrollado en la Universidad de California. Realiza diagnósticos y tratamientos para desórdenes psiquiátricos.

### HEART IMAGE INTERPRETER:

Desarrollado por la Universidad de Erlangen. Diagnostica el movimiento del corazón.

### HEME:

Desarrollado en la Universidad de Cornell. Es un prototipo que diagnostica enfermedades en hematología.

### HT-ATTENDING:

Desarrollado en la Universidad de Yale. Realiza la gestión farmacológica en la hipertensión esencial.

### INTERNIST-I/CADUCEUS:

Desarrollado en la Universidad de Pittsburgh en 1977 por Pople. Es un prototipo en diagnósticos en medicina interna.

TABLA II

guir y mantener las cifras prefijadas.

— Valoración de la respuesta del enfermo. El programa clasifica la respuesta terapéutica del enfermo en tres grados: nula, parcial y completa; clasifica la respuesta tóxica en otras tres categorías: nula, posible y clara. Así pues, existen

nueve posibles situaciones «toxicoterapéuticas» y el programa asocia una serie particular de acciones en cada una de ellas. Establece nuevas recomendaciones terapéuticas determinando en primer lugar la situación actual del enfermo y sugiriendo posteriormente los pa-

### **IRIS:**

Desarrollado por la Universidad de Rutgers. Explora el entorno para hacer decisiones médicas conocida la sistematología.

### **MAX:**

Desarrollado en la Universidad del Estado de Ohio. Diagnóstico y terminación del síndrome de colestasis en las vías biliares.

### **MECS-AI:**

Universidad de Tokio (Japón). Realiza diagnóstico y recomendaciones terapéuticas en enfermedades cardiovasculares y tiroideas.

### **MEDICO:**

Desarrollado en la Universidad de Illinois (EE.UU.). Gestiona las enfermedades de la coroida del ojo.

### **MED 1:**

Desarrollado en la Universidad de Kaiserlautern (RFA). Realiza diagnóstico relacionada con dolor torácico.

### **MI:**

Desarrollado en la Universidad de Rutgers. Realiza el diagnóstico del infarto de miocardio a través del análisis de la actividad enzimática.

### **MODIS:**

Desarrollado en la Universidad de Tbilisi (URSS). Realiza diagnóstico de hipertensión arterial.

### **MYCIN:**

Desarrollado en la Universidad de Standford en 1976 por Sholkif. Realiza diagnóstico y tratamiento de enfermedades infecciosas.

### **NEWMYCIN:**

Desarrollado en la Universidad de Standford. Diagnóstico y tratamiento de meningitis bacteriana y cistitis.

### **NEUREX:**

Desarrollado en la Universidad de Maryland. Realiza diagnósticos de enfermedades del Sistema Nervioso.

### **NEUROLOGIST-I:**

Desarrollado en la Universidad de New York en Buffalo. Realiza diagnósticos de enfermedades.

### **OCULAR HERPES MODEL:**

Desarrollado en la Universidad de Rutgers. Realiza diagnóstico y tratamiento de herpes oculares complejos.

### **ONCOCIN:**

Desarrollado en la Universidad de Standford en 1981 por Shortliffe. Realiza diagnóstico y tratamiento del cáncer.

### **PATHFINDER:**

Desarrollado en la Universidad de Standford. Interpreta muestras patológicas a través del microscopio.

### **PATREC:**

Desarrollado por la Universidad de Ohio. Realiza un acceso sofisticado a registros de pacientes en conexión con el Sistema Experto MDX.

### **PEC:**

Desarrollado por la Universidad de Rutgers. Realiza diagnóstico y tratamiento de enfermedades en los ojos. Es usado en medicina primaria del trabajo.

### **PIP:**

Desarrollado en MIT. Mantiene la historia clínica en pacientes con edemas.

### **PUFF:**

Desarrollado en la Universidad de Standford en 1978 por Kuntz. Es un prototipo que diagnostica enfermedades de pulmón severas a partir de las pruebas respiratorias.

### **RADEX:**

Desarrollado por la Universidad del Estado de Ohio. Realiza diagnósticos del síndrome de colestasis de las vías biliares a partir de información radiológica y de datos provenientes del sistema experto MAX.

### **RX:**

Desarrollado por la Universidad de Standford. Asiste en estudios grandes, no aleatorios, de Base de Datos clínicos, mediante generación de hipótesis por medios automáticos y análisis exploratorio.

### **SPE:**

Desarrollado en la Universidad de Rutgers. Distingue las causas de un proceso inflamatorio mediante la interpretación de las proteínas séricas por técnicas de electroforesis.

### **SYSTEM D:**

Desarrollado por la Universidad de Maryland. Realiza diagnósticos sobre causas probables de vértigos.

### **THYROID MODEL:**

Desarrollado por la Universidad de Rutgers. Diagnostica desórdenes en el tiroides.

### **VM:**

Desarrollado en la Universidad de Standford. Es un prototipo que realiza diagnósticos y tratamientos, las situaciones postquirúrgicas en unidades de cuidados intensivos.

conocidos en el momento de adoptar las decisiones por los médicos que trataban al enfermo.

— **Descripción del caso.** Una mujer de 55 años de edad con estenosis mitral ingresó para ser sometida a una histerectomía. La paciente se hallaba en fibrilación auricular desde hacía diez años y había estado tomando 0,25 mg. de digoxina al día. Se sometió a la exploración prequirúrgica y se encontró que tenía una frecuencia ventricular de 135, sin signos de insuficiencia cardíaca congestiva.

— **Recomendaciones de la computa-**

**dora.** La frecuencia inicial elevada se interpretó como un signo de efecto terapéutico inadecuado. Se sugirió que se le administraran 0,50 mg. en dosis divididas durante un día y que posteriormente se volviera a valorar. Se sugirió que se realizaran determinaciones de niveles séricos de digoxina y se recomendó un programa de mantenimiento inicial de 0,375 mg. al día.

— **Descripción del caso.** Los niveles séricos de digoxina eran inferiores a 0,5 mg/ml. La enferma recibió 0,25 mg. de digoxina dos veces al día durante dos días y su frecuencia ventricular descen-

sos aconsejables para conducirlo a una situación mejor.

— **Valoración de la toxicidad de la digital.** El grado de respuesta tóxica se valora examinando los siguientes aspectos de la situación clínica del enfermo: 1), signos no cardíacos de toxicidad digital (por ejemplo, náuseas, vómitos, anorexia, trastornos visuales); 2), irritabilidad ventricular (PVC); 3), «signos blandos» (por ejemplo, bloqueo del primer grado, enlentecimiento excesivo); 4), signos coadyuvantes (por ejemplo, depósitos corporales calculados elevados, niveles séricos del fármaco elevados, sospecha previa de toxicidad, presencia de hipopotasemia y otros factores que pudieran incrementar la sensibilidad del enfermo), y 5), indicios tóxicos (por ejemplo, un aumento superior al 20 por 100 del número de CVP, aparición de CVP multifocales, bloqueo A-V).

— **Valoración de la respuesta terapéutica.** La respuesta del enfermo a los glucósidos cardíacos se mide comparando su estado clínico actual con las características «basales» incorporadas al modelo específico de enfermo. Esta comparación se traduce en la clasificación de respuesta terapéutica como «nula», «parcial» o «completa».

— **Formulación del siguiente paso terapéutico.** Una vez que el programa ha determinado la situación «tóxica-terapéutica», elige el siguiente paso terapéutico.

— **Malabsorción y niveles séricos del fármaco.** El programa no necesita de la determinación de las concentraciones séricas del fármaco, pero si puede disponer de estos datos, los utiliza como una medida de los depósitos corporales actuales.

### CASO ILUSTRATIVO

En esta sección presentamos un caso clínico que demuestra cómo aplica el programa las estrategias que hemos definido a un caso particular. Las recomendaciones de la computadora se obtuvieron de forma retrospectiva (proporcionando al programa datos de la historia clínica del hospital), y no fueron

## UNA MUESTRA DE LA INTERACCION, A TRAVES DE LA CUAL EL PROGRAMA ADQUIERE LA INFORMACION DEL MEDICO, LAS PREGUNTAS DEL MEDICO VAN PRECEDIDAS POR \*; LAS RESPUESTAS DEL MEDICO VAN PRECEDIDAS POR

### MUESTRA DE DIALOGO

- \*¿CUAL ES EL RITMO CARDIACO DE BASE? > FIBRILACION AURICULAR
- \*¿CUAL ES RITMO VENTRICULAR ACTUAL? > 135
- \*¿SE HA PRODUCIDO REGULARIZACION DE LA RESPUESTA VENTRICULAR? > NO
- \*TIENE EL ENFERMO CVPS? > NO
- \*¿ESTA EL ENFERMO EN SITUACION DE PRE-OP? > SI
- \*¿QUE TIPO DE CIRUGIA SE VA A REALIZAR? > HISTERECTOMIA
- \*¿CUANDO SE VA A REALIZAR? > 4-6-75
- \*¿LA DIURESIS DEL ENFERMO ES SUPERIOR A 400 ml AL DIA? > SI
- \*¿ES ESTABLE LA FUNCION RENAL? > SI
- \*¿CUAL ES EL ACLARAMIENTO DE CREATININA DEL ENFERMO? > DESCONOCIDO
- \*¿CUAL ES LA CREATININA SERICA DEL ENFERMO? > 1,1
- 
- 
- 
- \*¿ESTA RECIBIENDO DIGITAL EL ENFERMO
- \*EN EL MOMENTO ACTUAL? > SI
- \*¿QUE PREPARADO ESTA TOMANDO? > DIGOXINA
- \*¿HA VENIDO RECIBIENDO UNA DOSIS CONSTANTE DEL FARMACO DURANTE MAS DE DOS SEMANAS? > SI
- \*¿CUAL ES LA DOSIS ACTUAL DE MANTENIMIENTO? > 0,25 mg/DIA
- 
- 
- 

TABLA III

día recibir medicación por vía oral, por lo que se comenzó a administrar 0,375 mg. de digoxina por vía intravenosa al día. Persistieron los valores normales de electrolitos y no mostró signos de hipoxemia.

— **Recomendaciones de la computadora.** La pauta de 0,375 mg. al día se consideró excesiva, puesto que el fármaco se administraba por vía intravenosa y, por consiguiente, debía esperar que se absorbiera por completo. El programa predijo que se podía producir un efecto tóxico y sugirió que las dosis intravenosas fueran de 0,25 mg. y de 0,125 mg. al día alternos (quizá en esta circunstancia el programa debería haber sugerido una dosis intravenosa única de 0,19 mg. al día).

— **Descripción del caso.** La enferma continuó recibiendo 0,375 mg. de digoxina intravenosa al día. Su frecuencia continuó a 80 por minuto y el ritmo comenzó a mostrar períodos de regularización.

— **Recomendaciones de la computadora.** Los períodos de regularización se interpretaron como taquicardia paroxística de la unión y se consideraron como signos de toxicidad digitalica. Se recomendó la suspensión del fármaco, así como la determinación de los niveles séricos de digoxina.

dió hasta 80 por minuto sin signos de toxicidad.

— **Recomendaciones de la computadora.** Se consultó de nuevo al programa y sugirió que debía suspenderse la digoxina 24 horas antes de la cirugía. También especificó que sus cálculos sobre unos niveles de digoxina de 1,6 ng/ml. no eran compatibles con los niveles séricos obtenidos en el análisis. Por consiguiente, postuló una malabsorción y ajustó el factor de absorción de un 75 a un 50 por 100.

— **Descripción del caso.** La paciente fue intervenida sin dificultad. Dos horas después de la operación su frecuencia se elevó a 120 y se le administraron 0,5 mg. de digoxina por vía intravenosa. No po-

— **Descripción del caso.** La enferma recibió una dosis adicional de 0,374 mg. de digoxina IV al día siguiente, y el mismo día se le detectaron de 15 a 20 extrasístoles ventriculares por minuto.

— **Recomendaciones de la computadora.** Se sugirió un tratamiento de potasio, difenihidantoína y lidocaína para la toxicidad digitalica.

— **Descripción del caso.** Se trató la toxicidad aguda con lidocaína. Los niveles séricos de digoxina eran de 3,5 ng/ml. Se suspendió la digoxina durante dos días. La enferma comenzó a tomar medicación por vía oral y se recomendó una dosis de 0,25 mg/día. Después de dos días con este tratamiento la frecuencia se elevó a 140.

— **Recomendaciones de la computadora.** Sugirió una dosis oral de 0,375 mg. al día.

— **Descripción del caso.** Se administró una dosis de 0,375 mg/día. Su frecuencia descendió a 80 después de tres días de tratamiento, y la paciente fue dada de alta.

— **Resumen del caso.** Puesto que esta enferma presentaba inicialmente unos efectos terapéuticos inadecuados (fibrilación auricular rápida), el programa recomendó un aumento de los depósitos corporales con una dosis suplementaria de digitalización, seguida de una dosis superior de mantenimiento. Al programar la cirugía, se sugirió que el fármaco debía suspenderse durante un día, porque la sensibilidad de la enferma, a los efectos tóxicos de la digital, aumentaba.

Después de la cirugía fue necesario establecer un tratamiento parenteral. El programa sospechó la existencia de una malabsorción (dados los niveles séricos de digoxina iniciales bajos), y, por consiguiente, sugirió que se administrara una dosis intravenosa considerablemente inferior a la dosis oral de mantenimiento. El signo inicial de toxicidad (taquicardia no paroxística de la unión) fue detectado por el programa. Al aparecer una ectopia ventricular importante, el programa sugirió el tratamiento antiarrítmico. Finalmente, la enferma mostró de nuevo una malabsorción de la digoxina oral y de nuevo sugirió una dosis superior de mantenimiento para conseguir un control adecuado de la frecuencia ventricular.

A continuación vamos a ver cómo mediante un diálogo interactivo entre el ordenador y el médico se creó un modelo específico de enfermo.

#### MODELO ESPECIFICO DE PACIENTE

Se presenta a continuación la «primeira sesión» de un caso tratado por fibrilación auricular (una arritmia cardíaca

### MUESTRA DE LA FORMA EN QUE EL PROGRAMA DA AL MEDICO SUS RECOMENDACIONES

#### MUESTRA DE RECOMENDACIONES

- \* LA INDICACION DEL EFECTO TERAPEUTICO ES:  
FRECUENCIA VENTRICULAR INFERIOR A 100
- \* LAS INDICACIONES DE PROBABLE TOXICIDAD SON:  
CAMBIO DE: FRIBRILACION AURICULAR  
A: TAQUICARDIA DE LA UNION NO PAROXISTICA  
COADYUVANTE DE TOXICIDAD ES:  
DEPOSITOS CORPORALES ELEVADOS
- \* POR CONSIGUIENTE, EL ENFERMO MUESTRA SIGNOS CLAROS DE TOXICIDAD
- \* CONSIDERAR LA ADMINISTRACION DE UNO DE LOS SIGUIENTES FARMACOS ANTIARRITMICOS: POTASIO, DIFENILHIDANTOINA, LIDOCAINA
- \* LOS DEPOSITOS CORPORALES ACTUALES PARA ESTE ENFERMO, SE CALCULA QUE SON: 0,77 mg
- \* ANTE LA RESPUESTA TOXICA INDICADA, ES ACONSEJABLE REDUCIR ESTOS VALORES A UN 70 % DE LOS PREVIOS
- \* CON EL FIN DE QUE LOS DEPOSITOS CORPORALES DE DIGOXINA DESCENDAN A: 0,54 mg
- \* SUSPENDER LA DIGOXINA DURANTE 24 HORAS

con ritmo rápido e irregular). Esta transcripción comienza después de haber registrado el nombre, hora, edad, peso, altura y sexo. (Las respuestas del médico van precedidas por los signos xx.)

¿Cuál es el ritmo cardíaco?

Las posibilidades son:

1. Ritmo sinusal normal.
2. Ritmo de marcapasos.
3. Fibrilación auricular.
4. Aleteo auricular (flutter).
5. Taquicardia paroxística de la unión aurículo-ventricular.
6. Taquicardia paroxística de la unión aurículo-ventricular con bloqueo.
7. Taquicardia de la unión aurículo-ventricular, no paroxística.

Introducir una sola posibilidad ...xx3.

¿Se regulariza el ritmo ventricular?

1. Sí.
2. No.

Introducir una sola posibilidad ...xx2.

«La regularización del ritmo significaría que ahora el ritmo sería una taquicardia de la unión A-V, no paroxística, que no solamente no se trata con digital, sino que es un signo habitual de intoxicación digitalica.»

¿Cuál es la frecuencia ventricular?

Introducir valor numérico. ...138.

¿Existen extrasístoles ventriculares?

Las posibilidades son:

1. Sí.
2. No.

Introducir una sola posibilidad ...xx1.

¿Son realmente extrasístoles ventriculares o corresponden a latidos supraventriculares con conducción aberrante? (Complejos de Ashman.)

Las posibilidades son:

1. Extrasístoles ventriculares.
2. Complejos de Ashman.

«Si realmente existen extrasístoles ventriculares, hay que vigilarlos cuidadosamente porque su aumento es un signo precoz de toxicidad digitalica. A este respecto, el programa tiene en cuenta la situación actual del uso de la digital, la función renal y comienza a valorar la posibilidad de una sensibilidad digitalica aumentada.»

¿Valor de la potencia? Unidades Meq/l. Introducir valor numérico. x3.4.

¿Se están administrando o se le van a administrar diuréticos?

Las posibilidades son:

1. Se han administrado.

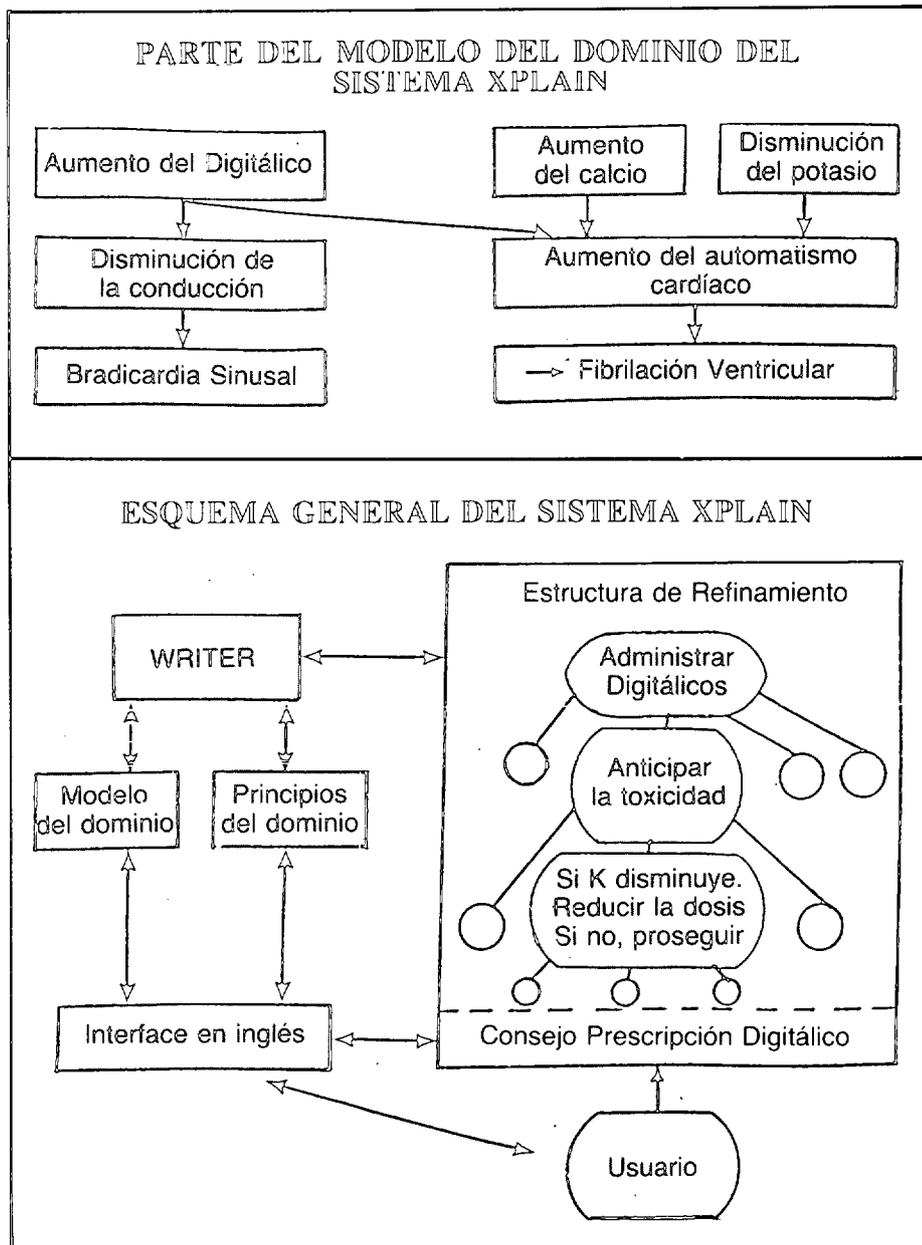


FIGURA 4.

2. No se han administrado.  
 Introducir una sola posibilidad ...xx2.  
 «La mayoría de los diuréticos producen una depleción del potasio. Los pacientes con hipopotasemia desarrollan más fácilmente intoxicación digitalica. Controle cuidadosamente este paciente, y adminístrele suplemento potásico.»  
 «El programa continúa preguntando al usuario sobre posible miocardiopatía, existencia de infartos agudos de miocardio (ataques cardíacos), saturación de oxígeno, función tiroidea y futuras actuaciones médicas (cardioversión, cateterismo cardíaco, cirugía), no mencionados aquí. En este caso, el usuario indica que la cirugía cardíaca se anticipa dos días, por lo que el nivel de digital en el momento de la operación debe ser más bajo. Después de estas preguntas el programa imprime los parámetros que usará al hacer sus recomendaciones.»

Parámetros usados para hacer recomendaciones:  
 Factor de reducción por hipopotasemia = 0,8.  
 Factor de sensibilidad de alteración total = 0,8.  
 «El programa trabajará sobre cuatro quintos de los valores que usaría normalmente, debido a la hipopotasemia.»  
 Almacenamiento corporal óptimo = 0,551 mg.  
 «Esta cifra es la cantidad ideal de digital en el cuerpo. Se determina a partir de las necesidades básicas de la enfermedad (la fibrilación auricular requiere más digital que la insuficiencia cardíaca), el peso del paciente y la sensibilidad personal (y en sesiones posteriores, la respuesta) al nivel previo de digital.»  
 Cantidad promedio proyectada en la tabla = 0 mg.

Fecha: 11-11-79; Hora: 21,00. Fecha: 11-11-79; Hora: 9,00.

Via oral: 0,25 mg.; IV: 0,125 mg. (6 0,5 c.c.). Via oral: 0,625 mg.; IV: (6 0,25 c.c.).

Recomendación: Mantener la digital para cirugía cardíaca.

#### INCORPORACION DE NUEVOS MODULOS

En 1977 William Swartont mejoró el programa añadiéndole la capacidad de explicación, mediante la incorporación al programa original del sistema XPLAIN.

Este sistema está basado en un programador automático «WRITER», que construye una traza de su proceso de elaboración del consejo terapéutico: la prescripción de digitálicos. Esta traza sirve de base para las justificaciones que el sistema ofrece al usuario. Para ello, el WRITER posee varios tipos de conocimiento sobre el dominio:

— El modelo de dominio: es un conjunto de relaciones causa-efecto, importantes en la terapéutica digital. En la figura 4 se presenta una parte del modelo.

— Los principios del dominio: estos conocimientos expresan comportamientos que conducen a una buena descripción. Por ejemplo, para el objetivo «Anticipar la toxicidad de la droga», el comportamiento tipo es expresado por:

SI: *Los signos clínicos de toxicidad existen.*

ENTONCES: *Reducir la dosis.*

SI NO: *Mantener la dosis.*

— La estructura de refinamiento: es un árbol de objetivos, descompuestos en subjetivos más específicos, generado por el programa WRITER.

De alguna manera constituye una traza de su proceso. Sobre esta estructura se apoya el módulo que genera las explicaciones. El esquema general del sistema responde al siguiente:

#### EVALUACION DEL SISTEMA EXPERTO

En 1978 el programa fue sometido a evaluaciones formales muy rigurosas, aplicándole 50 historias de pacientes del Veterans Administration Hospital de Houston. El resultado de esta evaluación fue juzgado por un panel de cinco expertos. En promedio cuando hubo discrepancias prefirieron las recomendaciones que hicieron los médicos sobre las que hizo el programa. Sin embargo, se admitió que las recomendaciones que dio el programa fueron iguales o incluso mejores en un 60 ó 70 por 100 de los casos. Este programa incrementa poco el conocimiento de los expertos sobre el tratamiento con digital. Se trata de un intento de codificar su conocimiento en su estado actual.

Gran parte de los conocimientos actuales en Medicina no son ni cuantitativos ni algorítmicos. El clínico experto suele confiar en la heurística y en la experiencia pasada. Puesto que estos clínicos expertos pueden proporcionar a sus enfermos unos cuidados más adecuados que los médicos poco experimentados, debe preocupar el problema de la comprensión y distribución de su experiencia. Empleando métodos avanzados de técnica de computadoras para asimilar los principios y estrategias usadas por los cardiólogos, se pueden preparar programas de tratamiento con digital que sean aplicables a un gran espectro de enfermos.

Cantidad actual proyectada en la tabla = 0 mg.

Desviación del almacenamiento corporal = 0.637 mg.

«Esta cantidad debería administrarse ahora para que la cantidad promedio durante las próximas veinticuatro horas sea 0.551 mg.»

Tiempo para alcanzar ese nivel = 24 horas.

Vida media = 55.8 horas, 2.3 días.

Pérdida diaria en equilibrio = 0,164 ml.

«Cuando se ha alcanzado el nivel deseado, se necesitará esta cantidad diaria para mantenerlo.»

Factor de absorción = 0.75.

«Se supone que pasa a la sangre el 75 por 100 de la dosis oral, a no ser que el programa indique otra cosa. A continuación el programa pregunta la frecuencia con que se va a administrar la digital, y al contestar "dos veces al día", suministra las siguientes recomendaciones psicológicas.»

Las recomendaciones posológicas son:

Fecha: 11-10-79; Hora: 9,00

Vía oral: 0,5 mg.; IV: 0,4375 mg. (6 1,75 c.c.).

Informe después de la primera dosis.

Se tiene en cuenta los efectos de la primera dosis para realizar los ajustes en el esquema posológico.

#### BIBLIOGRAFIA

ARMITAGE, P.: «Statistical methods in medical research». Blackwell Scientific Publication. Oxford, 1971.

BUCHANAN, B. G.; SHORSTLIFFE, E. H.: «Rules-Based Expert Systems: The MYCIN experiment of the Standford Heuristic Programming project reading». Addison Wesley, 1984.

CARBONELL, J. G.: «The counter planning process: reasoning under adversity». En «Proceeding of the sixth International Joint Conference on Artificial Intelligence». Standford C. A.: Standford University. Dept. of Computer Science. 1979.

FEIGENBAUM, E. A.: «The art of Artificial Intelligence. I. themes and case studies of knowledge engineering». En «Proceeding of the fifth International Joint Conference on Artificial Intelligence». Pittsburg P. A.: Cormegie Mellon University. Dept. of Computer Science. 1.014-1.029. 1977.

GLESSER, M. A.; COLLEN, M. F.: «Toward automated medical decisions». Computer in Biomedical Research. 5:1972:180-189.

GORRY, G. A.; BERNETT, G. D.: «Experience with a model of sequential diagnosis». Computer and Biomedical Research. 1:1968:490-507.

GORRY, G. A.; SILVERMAN, H.; PARKER, S. G.: «Computing clinical expertise: a computer program that considers clinical response to digitalis». Am. J. of Med. 64:1978:452-460.

SWATONT, W. R.: «A digitalic therapy advisor with explanation». Report N.º. TR-176 Laboratory for Computer Science. Massachusetts Institute of Technology. 1973.

SILVERMAN, H.: «A digitalis therapy advisor». Report N.º. TR-143 Project MAC. Massachusetts Institute of Technology. 1975.

WECHSLER, H. A.: «A fuzzy approach in medical diagnosis». Int. J. of Biomed. Comp. 7:1976:191-657.

WEISS, S. H.; KUSIKOWSKI, C. A. EXPERT: «A system for developing consultation models». En «Proceeding of the sixth International Joint Conference on Artificial Intelligence». Standford University. Dept. of Computer Science. 942-947. Standford, 1979.

YN, U. L.; BUCHAUM, B. G.; SHORSTLIFFE, E. H.; WRAITH, S. H.; DAVIS, R.; SCOTT, A. C.; COHEN, S. N.: «Evaluating the performance of a computer a based consultant Computer Programs in Biomedicine». 9:95-102. 1979.

WARTMAN, P. H.: «Medical diagnosis. An information processing approach». Computers and Biomed. Research. 5:1972:315-328.