

Inteligencia Artificial en Medicina: aplicaciones en Sanidad Militar

JULIO MEZQUITA ARRONIZ,

General Médico del Aire, Director del Hospital del Aire

VICENTE NAVARRO RUIZ,

Teniente Coronel Médico del Aire, Jefe del Servicio de Cardiología del Hospital del Aire

JOSE M. DE LA RIVA GRANDAL,

Teniente de Aviación, Ingeniero S. Telecomunicación

INTRODUCCION

"La vida escapa de las manos del biólogo para pasar a las del físico". A. DAVID, 1964.

EL acelerado crecimiento del conocimiento médico y su tremendo volumen ha hecho necesario la especialización en las ciencias médicas. Aún así los especialistas médicos están a menudo abrumados por la cantidad de artículos y libros que deben leer para mantener su posición de vanguardia, y al no poder asimilar toda la información relevante para un buen cuidado del paciente, se sienten fracasados.

El ordenador digital es un dispositivo que puede paliar esta explosión de información médica, asistiendo al profesional médico en su trabajo diario y particularmente en la toma de decisiones médicas. Las dos técnicas que se han utilizado para abordar el problema del diagnóstico médico automático son la Estadística y la Heurística.

Durante más de una década, estadísticos, clínicos y otros, han estado diseñando programas de ordenador en el campo del diagnóstico médico. Se han probado muchas técnicas matemáticas y algorítmicas, pero ninguna de ellas ha sido totalmente satisfactoria.

En los últimos años, la tecnología de la Inteligencia Artificial a través de los Sistemas Expertos está consiguiendo mejores resultados en el área del diagnóstico médico automático. Estos Sistemas Basados en el Conocimiento, se fundan en técnicas heurísticas y su nivel alcanzado ha sido bueno, pero su progresión en Medicina es lenta. Su énfasis está en la explotación de una variedad de tipos de conocimiento para la toma de decisión médica. La capacidad para acumular grandes bases de conocimiento ha conducido al desarrollo de algunos grandes sistemas expertos, cuyos rangos de habilidades están muy lejos de los sistemas algorítmicos convencionales (ver tabla).

La Sanidad Militar, posee una personalidad propia por su fines y medios que la distinguen claramente de la Medicina de ámbito civil. Sin precisar aquí las características diferenciales de cada uno de los Cuerpos de Sanidad Militar, si hay que reseñar, entre otros, algunos de sus problemas comunes:

— La toma de decisiones médicas, muchas veces urgentes y de carácter vital, en zonas alejadas, por el despliegue, de unidades suficientemente dotadas.

Decisiones que en la mayoría de las veces, deben de ser realizadas por Personal Sanitario no especializado.

— La necesidad de una formación continuada y reciclaje del Personal Sanitario Militar, supone desplazamientos temporales del mismo a las unidades capacitadas para este fin, con los inconvenientes de absentismo y carga económica que esto representa.

— La introducción del ordenador como herramienta cada vez más familiar, a pesar de los recelos lógicos en la Sanidad Militar, ha supuesto, hasta ahora, una mejora y potenciación de las tareas de gestión y proceso de datos clínicos. La llegada de la I.A. en forma de Sistemas Expertos aplicados a la Medicina puede suponer una auténtica revolución al dar respuesta entre otros a los problemas enunciados.

LA TOMA DE DECISIONES MEDICAS

LAS tres partes principales de la toma de decisión médica son: la recogida de datos médicos, el diagnóstico médico y el tratamiento (figura 1).

La recogida de datos consiste en obtener los datos del paciente de su historia, de la exploración clínica y de exámenes complementarios (Radiología, Laboratorio, Electrocardiografía, etc.). Los datos clínicos incluyen

los síntomas y signos. Los primeros son sensaciones subjetivas que refiere el paciente. Los segundos son objetivos y son observados por el médico durante el curso de un examen. Los exámenes complementarios, aportan resultados de pruebas específicas para la detección de estados patológicos. Con esta estructura de datos el médico elabora hipótesis de trabajo tal como los diagnósticos, pronósticos y tratamientos aplicables al paciente.

Se denomina Diagnóstico al proceso que usando esos datos determina la enfermedad. Sin embargo hay casos en que no se puede alcanzar un diagnóstico concreto, sino situaciones intermedias, tales como síndromes, estados patofisiológicos y clínicos, etc.

El tratamiento recomendado depende del diagnóstico. Cuando existen varios tratamientos, éstos estarán interrelacionados en términos de aplicabilidad y factores de riesgo/beneficio tales como efectividad, terapéutica, toxicidad, posibilidad de interacciones indeseables y otras limitaciones.

Las tres tareas de la toma de decisión médica no son independientes. La hipótesis de la enfermedad se usa para dirigir la búsqueda de la recogida de datos. El tratamiento es recomendado en función del diagnóstico y suele solicitar una información de datos. La consulta clínica es el conjunto de recogida de datos, el diagnóstico de la enfermedad y el tratamiento recomendado.

Los Sistemas Expertos en un área concreta de las ciencias médicas están estructuradas de este modo y tratan de trabajar como lo hace el médico, sin embargo existen aspectos de la consulta médica, tal como el examen físico, que no pueden llevarlo a cabo. Los médicos obtienen mucha información del aspecto o apariencia general del paciente, expresión facial, palpación, auscultación, etc., actos que el ordenador no puede realizar. Tampoco el ordenador actual puede hablar con el paciente para obtener información, o explicarle la terapéutica a seguir. Es decir, el ordenador es incapaz de lograr esa relación especial que se da entre el médico y el paciente, siempre muy importante para obtener el fin deseado: la Salud del paciente.

DIAGNOSTICO MEDICO ESTADISTICO ASISTIDO POR ORDENADOR

EL uso de los ordenadores en el diagnóstico médico comenzó en los años 60, mediante la aplicación de programas estadísticos. Estos programas no hacían un gran énfasis en los modelos de razonamiento clínico, sino que normalmente asignaban estructuras a un dominio, usando técnicas estadísticas.

Aceptaban un conjunto de síntomas, signos y resultados de las exploraciones clínicas y mediante métodos tales como reconocimiento de patrones a través de funciones discriminantes, teoría bayesiana de toma de decisiones y técnica de árbol de toma de decisiones, seleccionaban una determinada enfermedad. Los programas más complejos utilizaban técnicas de diagnóstico secuencial. Ello implica que cuando no hay suficiente información para hacer un diagnóstico fiable, se solicita la realización de nuevo análisis que proporcionen más datos. La estrategia que se sigue para seleccionar la mejor prueba se basa en tres factores:

Costos de la prueba, peligrosidad para el paciente y cantidad de información útil que la prueba puede suministrar.

Más tarde, durante los años 70, estos sistemas de diagnóstico médico asistido por ordenador se hicieron populares dentro de la comunidad científica médica. En 1979, Roger y colaboradores publicaron una tabla con 58 sistemas de práctica médica asistida por ordenador (ver cuadro). Según esta tabla, el mayor número de programas de diagnóstico médico automático se concentran en los sistemas Endocrino, Digestivo y Desórdenes Mentales.

Desafortunadamente, estos programas estadísticos se mostraron limitados como herramientas de ayuda en la toma de decisiones médicas. Esta falta de adhesión de la comunidad médica hacia los programas de diagnóstico médico automatizado fueron detectados en 1977 por Friedman y Gustafson, los cuales encontraron en una revisión de la literatura científica sólo un puñado de estos sistemas informáticos que estaban actuando en centros de salud de un modo regular.

El error partía, de que los métodos matemáticos utilizados, se basaban en suponer que el paciente tenía una sola enfermedad y que los datos suministrados no eran erróneos, asumiendo la independencia y mutua exclusividad de varios estados de la enfermedad, aspecto que carecía de justificación. Además, eran necesarias muchas probabilidades previas o anteriores y condicionales, necesarias para un análisis completo.

Durante la década de los años 70 se hicieron grandes esfuerzos por aplicar la técnica de la Inteligencia Artificial a la problemática del diagnóstico médico. De nuevo aparecieron los problemas debidos al conocimiento inexacto del estado de salud final. Se asumía el estado final en el paciente sano, si se conocía exactamente el estado inicial de su enfermedad. A partir de aquí se determinaba su tratamiento, aplicando al estado inicial operadores de cambio de estado, como pueden ser fármacos, acciones terapéuticas, procedimientos quirúrgicos. Todo se reduciría a un problema de búsqueda del camino entre el estado inicial y el final.

Esta técnica adolece de dos problemas fundamentales. Primero, el estado inicial de la enfermedad del paciente no suele ser conocido con certeza. Segundo, la aplicación de un operador, esto es un tratamiento, no garantiza la salud del paciente.

Ello motivó aún más la búsqueda de métodos que permitieran ejecutar razonamientos aceptables en base a conocimientos imprecisos.

DIAGNOSTICO MEDICO HEURISTICO ASISTIDO CON ORDENADOR

"Por muy potente que sea el sistema lógico, siempre existirá la posibilidad de plantear proposiciones o enunciados que ni pueden ser probados ni pueden ser refutados dentro del propio sistema". K. GODEL, 1931.

LA resolución de problemas es el corazón de la Inteligencia Artificial. Se citan normalmente dos procedimientos universales de resolución de problemas: los algorítmicos y los heurísticos. En un sentido amplio, los algoritmos son procedimientos claramente definidos que garantizan la solución de un problema; la

heurística es el conjunto de reglas empíricas o estratégicas que permiten encontrar la solución a un problema. La complejidad de algunos procedimientos de resolución de problemas hacen que la solución algorítmica sea impracticable en algunos casos.

Pasado de la Inteligencia Artificial en Medicina

Uno de los primeros programas heurísticos fue el "Logic Theorist", desarrollado por Newell y Simon en 1956. Este programa trabajaba a partir del teorema a probar y va razonando hacia atrás otros axiomas y otros teoremas del supuesto inicial.

Muchas de las ideas básicas del "Logic Theorist" fueron desarrolladas posteriormente por Mewell Show y Simon en 1957, con la realización del G.P.S. (Solucionador General de Problemas). Este programa intentaba establecer un modelo general de resolución de problemas mediante técnicas heurísticas y utilizando técnicas de análisis de intención final.

Una de las críticas es que los desarrollos en I.A. nunca alcanzarían a mucha gente. Un ejemplo bien conocido de críticas en este sentido es el informe Lighthill, publicado en 1973 por el S.R.C. (Consejo de Investigación Científica del Reino Unido). En dicho informe se argumentaba que la investigación sobre inteligencia artificial era excesivamente cara y no se divisaban posibilidades a corto plazo de comercializadores y rentabilidad económica.

La I.A. también a menudo es criticada por la razón opuesta: Puede alcanzar todas las cosas y ser peligrosa, desmesurada y espantosa.

¿Qué ha alcanzado la I.A. en Medicina en la última década?

1. Han sido desarrollados diversos métodos por la incorporación de estructuras de conocimientos y mecanismos de interface.
2. Estos métodos han sido aplicados a una variedad de problemas clínicos y ha sido valorada su precisión en la práctica clínica con buenos resultados.

TABLA			
EVALUACION CUANTITATIVA DE ALGUNOS SISTEMAS EXPERTOS DE MEDICINA			
SISTEMA EXPERTO	LUGAR	EVALUACION	RESULTADOS
MYCIN	Universidad Stanford	— Mediante expertos.	55% - 80%
INTERNIST	Universidad Pittsburgh	— Modo informal con casos de rutina.	Modestos
		— Modo preciso con casos serios.	18% - 20%
CASNET	Universidad Rutgers	— Mediante expertos.	18% - 20%
PUFF	Universidad Stanford	— Mediante expertos.	90%
PSYCO	Universidad Sheffield	— Mediante objetivos precisos, comparado con un sistema informático basado en Bayes.	90%
LEUKAEMIA ..	Imperial Cancer Research Fund	— Mediante expertos.	93%

3. Se han construido herramientas generales, independientes del dominio, para la construcción de sistemas expertos, habiendo sido evaluadas en la práctica.

De todo ello quizás el resultado más importante de este trabajo es que hoy entendemos mejor las estructuras del conocimiento médico y la capacidad para almacenar y procesar inteligentemente el conocimiento en un rango mucho más amplio que el existente en la década anterior.

El presente de la Inteligencia Artificial en Medicina

A pesar de los avances en el pasado de la I.A. en Medicina, esta tecnología tiene hoy en día muy poco impacto en las Ciencias de la Salud. Las razones probablemente son las siguientes:

1. Los métodos existentes para máquinas de almacenamiento y procesamiento de I.A. conllevan importantes limitaciones. Por ejemplo, la información anatómica ha sido difícilmente tratada para la relación espacial que la caracteriza.

2. El procesamiento del conocimiento, usando técnicas de I.A., no ha alcanzado un costo interesante. El desarrollo de sistemas de I.A., a menudo lleva años de investigación e involucra a equipos multidisciplinarios de médicos e ingenieros del conocimiento. Se ha valorado, que el desarrollo de un Sistema Experto requería 5 hombres/año.

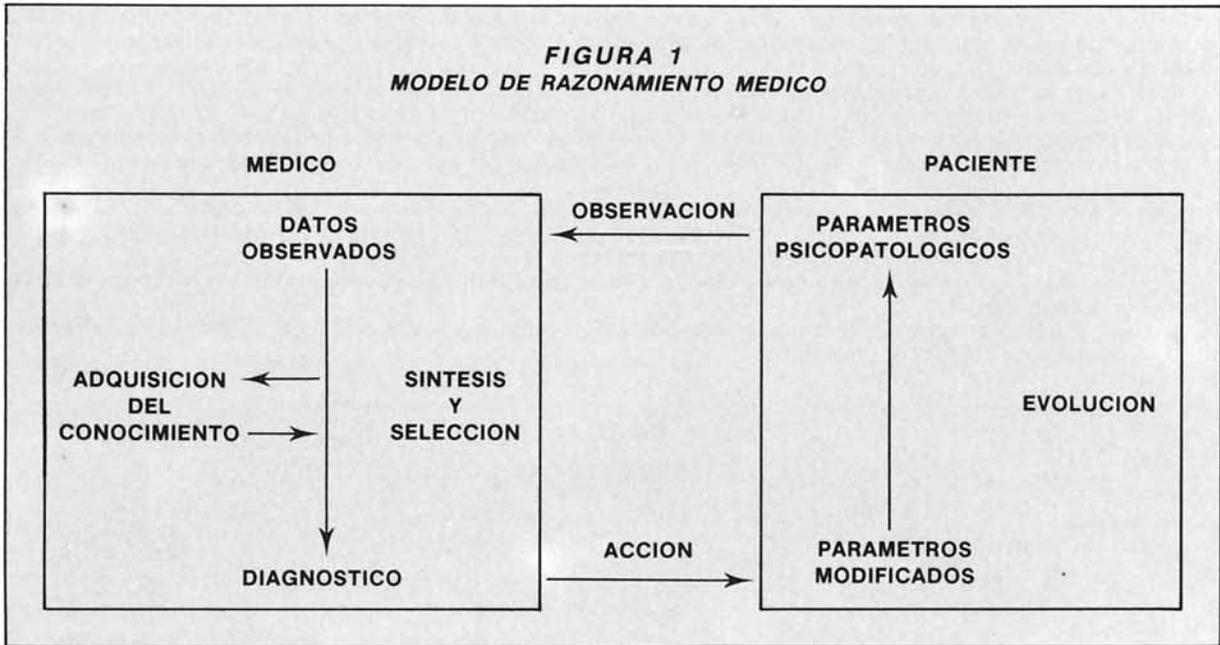
3. Ha habido hasta la fecha una falta de demanda de los médicos para los servicios que ofrece la I.A. Esto refleja en parte el hecho de que los médicos no están convencidos que sean útiles y baratos, así como el que predomine su tradicional conservadurismo médico-enfermo en la relación directa y especial.

Curiosamente, los sistemas informáticos en Medicina fracasaban en aquellas áreas en las que era necesaria la interacción entre el médico y el terminal de ordenador. Sólo eran aceptados aquellos programas que se encargaban de la adquisición y proceso de los datos que el médico consideraba rutinarios y faltos de inteligencia. Sin embargo no sólo la posible pérdida de protagonismo en el proceso médico es la única causa del aparente fracaso de los sistemas basados en el conocimiento, sino también existen otras múltiples factores que las podemos clasificar en psicológicas, interactivos y pedagógicas.

Factores psicológicos

1. Probablemente es un error esperar que el médico se adapte rápidamente a los cambios impuestos por el sistema informático.
2. Un sistema informático será más aceptado si permite al médico realizar tareas, que éste ya estaba dispuesto previamente a hacerlas de forma manual.
3. Es importante evitar la introducción prematura de un sistema mientras el mismo aún se haya en un estadio experimental.

FIGURA 1
MODELO DE RAZONAMIENTO MEDICO



Factores interactivos

Está claro que el mejor sistema informático eventualmente falla si el proceso de comunicación hombre-máquina es arduo, frustrante o complicado. Algún día la interacción médico-ordenador incorporará la comunicación por voz. Por lo tanto se deberá cuidar: la mecánica de la interacción, la simplicidad de los display, los tiempos de respuesta y la autodocumentación. Todo ello esencial para el éxito de la implantación del sistema informático médico.

Factores pedagógicos

La captura de conocimientos y datos junto con el sistema informático para usarlo de una manera consistente y coherente son consideraciones que tradicionalmente han recibido mucha atención.

Los médicos suelen exigir que los sistemas basados en el conocimiento estén dotados de instrumentos educacionales que puedan proporcionar explicación o que tengan capacidad de justificación. También es importante que tales explicaciones se expresen en términos que sean fácilmente comprensibles para el médico. Sin embargo, no es práctico que el sistema informático de consulta, explique cada paso o hecho de razonamiento.

La facilidad para solicitar explicaciones requiere que el programa pueda entender las preguntas que el usuario le formule en formato libre. Por lo tanto es razonable pensar que el sistema debe estar dotado de una interface donde las cuestiones puedan ser entendidas por el sistema y que este emita la respuesta apropiada.

Es inevitable que los programas de consulta al tratar con problemas clínicos complejos puedan ocasionalmente producir algún error o mantener lagunas de conocimiento. Se requiere para solucionar estos problemas que la representación del conocimiento sea flexible y que el sistema disponga de métodos poderosos para poder resolver estas dificultades.

El futuro de la Inteligencia Artificial en Medicina

¿Qué podemos esperar en el futuro? Se apagará la I.A. en Medicina, se superará la situación actual y se elevará a nueva cota de utilidad y éxito? Estas preguntas pueden ser dirigidas desde dos perspectivas: 1) Por observación de la tendencia conocida actual. 2) Por el examen de los efectos que los nuevos progresos pueden suponer para la I.A. médica.

Dada la primera de esas perspectivas, alguna de esas tendencias están generalmente consideradas como negativas (la pérdida de investigadores académicos en I.A. por su traslado al sector industrial).

Sin embargo, hay factores que pueden influir positivamente, tales como:

1. La mayor disponibilidad de Hardware y caída del coste del soporte físico capaz de soportar aplicacio-

nes de I.A. También, el desarrollo de Hardware de propósito especial, específicamente diseñado para trabajar en I.A., tal como máquinas Lisp o Prolog y sobre todo, el proyecto japonés de la Quinta Generación de ordenadores.

2. Trabajo continuado en la investigación de ciencias básicas en I.A., incluyendo investigación de métodos de procesamiento en un amplio rango del conocimiento médico (espacial, temporal, causa-efecto, etc.).

3. Valoración continuada de los sistemas de I.A. en centros clínicos, descubrir sus debilidades y de este modo motivar más investigación básica.

4. Tendencias sociales, tales como la mejora de la actitud de los médicos hacia los sistemas médicos, más familiaridad con los computadores entre los médicos jóvenes y educación de la computación biomédica en las Facultades de Medicina.

5. Mejora de los costes efectivos, no solamente debido a la caída de los precios del Soporte Físico, sino también a la aparición de sistemas de basados en el conocimiento.

El Soporte Lógico, independiente del área de conocimiento, es un coste efectivo porque puede ser reutilizado en otros sistemas expertos médicos. En suma, algunos sistemas independientes del dominio están inviablemente diseñados para el uso directo de médicos, más que requerir un programador como intermediario. En dicho contexto el esfuerzo mínimo de cinco años/hombre sugerido por otros autores puede ser mejorado en un orden de magnitud.

6. La rápida difusión de la tecnología del proceso del conocimiento en aplicaciones no médicas. En el pasado, la I.A. en Medicina ha sido la vanguardia de la investigación de la I.A. en sistemas basados en el conocimiento. Recientemente ha sido desplazado apreciablemente hacia áreas de aplicación no médicas, tales como la industria, la defensa y las fianzas.

Esto requerirá significativos avances tecnológicos, como por ejemplo, los gráficos y las imágenes deberán ser integradas en los Periféricos de Salida; y las pantallas táctiles, ratones y procesadores de voz y visión incorporadas en los Periféricos de Entrada de los sistemas informáticos.

Por eso, salvo contratiempos imprevistos, la tendencia actual anticipa un saludable e importante incremento futuro para la tecnología, basada en el conocimiento con aplicación en Medicina. Además, ciertos hechos futuros pueden tener efectos pronunciados en este campo. Veamos algunos ejemplos:

1. Una fundamental ruptura conceptual en la tecnología de la I.A.

2. Aparición de una especialidad médica enfocada a la informática médica que suponga una mejora cualitativa del médico en la tecnología basada en el conocimiento.

3. Inclusión en la factura del paciente del coste correspondiente por el uso de sistemas de I.A. (esto se hará si por supuesto se demuestra que la tecnología de la I.A. mejora la calidad y/o disminuye el coste de los cuidados médicos).

4. Desarrollo de un lenguaje de I.A. potente, entendible por el ordenador y por el médico para la representación del conocimiento médico, y de la Informática Médica en general.

CUADRO

TIPOS DE ENFERMEDADES	NUMERO DE ARTICULO
Endocrinas, nutricionales y metabólicas	13
Sangre y órganos que intervienen en la formación de la sangre	2
Desórdenes mentales	10
Sistema nervioso y órganos sensoriales	1
Sistema circulatorio	5
Sistema respiratorio	2
Sistema digestivo	12
Sistema genitourinario	2
Obstetricia y Neonatología	1
Piel y subcutáneas	3
Sistema muscular, sistema esquelético, tejidos	1
Síntomas diversos	4
Accidentes, envenenamientos, violencia	2
TOTAL	58

INTELIGENCIA ARTIFICIAL Y SANIDAD MILITAR

EN el momento actual la Informática de la Sanidad Militar no cuenta con los medios necesarios para realizar las dos variedades de Informática Sanitaria habituales hoy en día: Informática de Gestión e Informática Médica. Estas funciones sólo se realizan de forma aislada en algunas unidades de la Sanidad Militar Española (Hospital del Aire, Hospital Gómez Ulla, Hospital Naval del Mediterráneo, Hospital Naval del Estrecho, Hospital Militar de Sevilla). Existe ya en marcha un amplio Plan de Informática Hospitalaria que unirá los más importantes hospitales militares de nuestra patria y en el que el Hospital del Aire será nudo de primera magnitud. Esta nueva circunstancia permitirá mejorar nuestra logística médico-militar.

Sin embargo, la Sanidad Militar puede ser una gran beneficiaria de la revolución tecnológica producida por la I.A. en forma de Sistemas Basados en el Conocimiento. Quizás no esté lejos el día en que con simples soportes de discos de escaso coste, podamos enviar desde nuestras Unidades Sanitarias Centrales programas a las Unidades Periféricas, fácilmente legibles en ordenadores personales, para el Personal Sanitario allí destinado, el cual, aunque no sea un experto en ciertos temas médicos, ante una decisión urgente, se vea asistido por el ordenador. El diagnóstico y en su caso el tratamiento conseguido con estos sistemas, supliría la presencia, siempre escasa de especialistas, acelerarían la actuación médica y evitaría muchas inútiles y costosas evacuaciones.

La instrucción y reciclaje del Personal Sanitario Militar es otro de los objetivos de aplicación, en función de disminuir el absentismo temporal en los destinos y evitar el coste de desplazamiento, dietas, etc.

Los complejos problemas logísticos que plantean los despliegues de las grandes unidades de los ejércitos relativos a su Sanidad, podrían en el futuro ser más fácilmente solucionados, mediante programas de I.A. que ayuden a la Toma de Decisión por el Mando.

La Sanidad del Ejército del Aire no es ajena a esta auténtica revolución científica. Comprendiendo que nuestra principal misión es el mantenimiento operativo de nuestro personal, está en proyecto un prototipo de Sistema Experto en Cardiología (CARDAIR), que será desarrollado por el equipo Informático-Médico del Servicio de Cardiología del Hospital del Aire en colaboración con las Facultades de Informática y Medicina. CARDAIR pretende asesorar sobre los problemas que más frecuentemente afectan a nuestras tripulaciones aéreas, en las enfermedades cardíacas (Hipertensión Arterial, Enfermedad Coronaria y Arritmias Cardíacas).

ESPAÑA Y LOS SISTEMAS EXPERTOS EN MEDICINA

Al igual que ocurrió en los Estados Unidos, también en nuestro país existe una sensibilidad especial hacia la realización de Sistemas Basados en el Conocimiento en las Ciencias de la Salud.

Un proyecto sumamente prometedor en este campo es el denominado "Galeno 2.000", que consiste en desarrollar un sistema de diagnóstico médico, a partir de los datos obtenidos mediante métodos no invasivos.

Galeno 2.000 forma parte del programa cooperativo de investigación europea EUREKA y está dotado de un presupuesto de 7.365 millones de pesetas a lo largo de cinco años. Las firmas participantes son I.D.S. (España), Ames (Dinamarca) y Aerospatiale (Francia).

Actualmente el proyecto se encuentra en su fase inicial, pero se espera que se integren tres tecnologías: sensores no invasivos, tarjetas de salud y sistemas expertos; estos últimos correrán a cargo precisamente de la empresa española.

El sistema será modular, lo que significa que podrá aplicarse a entornos diversos. En Medicina Preventiva servirá para exploraciones de grandes masas de población en diferentes escenarios (militar, escolar, deportivo, laboral, etc.). En Medicina Primaria, para poner a disposición de los médicos rurales y centros de salud de unas tecnologías hasta ahora reservadas a niveles superiores, y de este modo, aumentar la calidad asistencial y reducir los costes.

Otro de los sistemas expertos aplicados al diagnóstico y tratamiento médico es el PNEUMON- I.A. Tiene como objetivo el diagnóstico, tratamiento y seguimiento de las neumonías adquiridas tanto fuera como dentro de un hospital. Su desarrollo está a cargo del Grupo de Inteligencia Artificial y Lógica del Centro de Estudios Avanzados de Blanes, integrado en el C.S.I.C. Actualmente el programa se haya en fase de prototipo (aproximadamente 200 reglas de producción) y realiza diagnóstico de neumonía adquirida fuera del hospital.

La Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Telecomunicación de Madrid junto con el Hospital "La Paz" de Madrid, están tratando de desarrollar un sistema basado en el conocimiento, en el área de los protocolos sobre el cáncer.

También en el campo de la sanidad civil el equipo Informático-Médico del Hospital del Aire está trabajando. Se trata de desarrollar en colaboración con el Departamento de Cardiología del Hospital Clínico "San Carlos" de la Facultad de Medicina de UCM, un Sistema Experto que diagnostique dolores torácicos. ■

BIBLIOGRAFIA

1. Nilsson, E.: *Principles of Artificial Intelligence*. Tioga Publ. Co., 1980

2. Feigenbaum, E.: *The Art of Artificial Intelligence — Themes and Case Studies of Knowledge Engineering*, Proc. Fifth IJCAI, 1977, 1014.

3. Dedombal, F., et al.: *A Comparison of the Performance of Clinicians and non-Clinicians*, Meth. Inform. Med., 11, 1972, 32-37.

4. Lighthill, J.: *Artificial Intelligence*. Science Research Council (England), April, 1973.

5. David, R.: *Expert Systems — Where Are We? And*

Where Do We Go From Here?, The AI Magazine, 1082 (Spring), 3-22.

6. Davis, R. and King, J.: "An overview of production systems." In *Machine Representation of Knowledge* (E. W. Elcock and D. Michie, eds.) New York: Wiley, 1976.

7. Davis, R.; Buchanan, B. G., and Shortliffe, E. H.: "Production rules as a representation for a knowledge-based consultation system." *Artificial Intelligence*, 8, 15-45 (1977).

8. Shortliffe, E. H.: *Computer-Based Medical Consultations: MYCIN*, New York: Elsevier/North, Holland, 1976.

9. Yu, V. L.; Buchanan, B. G.; Shortliffe, E. H., et al.: "Evaluating the performance of a computer-based consultant", *Compu. Prog. Biomed.*, 9, 95-102 (1979 a).