

El artista cibernético: fotografía tomada directamente de un terminal gráfico conectado a un VAX 11/780.

# **La Quinta Generación de ordenadores**

La amenaza japonesa de comercializar los resultados conseguidos en los laboratorios de investigación en ciencias básicas de la computación se llama "Quinta Generación". Escribe sobre el tema nuestro compañero **DARIO MARAVALL**.





Dario Maraval

Un tema que vuelve a estar de moda es el de los ordenadores inteligentes, tras el escepticismo que produjo entre los profesionales de la informática la invasión de proyectos, declaraciones, mítines, publicaciones, etc., etc. lanzada hacia finales de los cincuenta, principios de los sesenta por una extraña comunidad de gentes que aparecían como muy brillantes. Hasta una empresa tan dinámica como IBM paralizaría en 1968 todas sus actividades en inteligencia artificial (IA). Por supuesto, aquella gente siguió adelante con sus manías y hoy día el gobierno japonés está decidido a sacar adelante una nueva generación de sistemas de ordenadores basados en aplicaciones de la IA. Este ambicioso proyecto, por venir de quien viene, ha causado una tremenda inquietud entre los grandes fabricantes de ordenadores y hasta la NASA, que siempre ha apostado por la tecnología de los computadores, se plantea la posibilidad de aceptar el reto de los japoneses y lanzarse a la financiación del proyecto en la línea de la quinta generación.

En Octubre de 1981 se celebra en Tokyo, Japón, la autodenominada "Conferencia Internacional sobre la Quinta Generación de Sistemas de Ordenador". Esta reunión, auspiciada por instituciones públicas y privadas japonesas, había despertado grandes recelos en el sector informático occidental, pues se temía un esfuerzo japonés, organizado y sistemático, hacia la comercialización de resultados has-

ta entonces constreñidos a los laboratorios de investigación.

En USA se ejercieron fuertes presiones para que los científicos e ingenieros norteamericanos invitados no asistieran a la Conferencia y evitar así la cesión de información. A pesar de lo cual, algunos miembros destacados de la Comunidad norteamericana de IA sí participarían en la Conferencia (Feigenbaum y Mc Cornick, entre otros). No obstante, sus aportaciones son de nivel divulgativo, repitiendo los habituales tópicos en torno a sistemas avanzados de ordenador. El núcleo esencial de las actas lo forman las comunicaciones de los japoneses.

Antes de pasar a describir brevemente algunos de los rasgos propios del proyecto japonés, convendría comentar el por qué de la denominación **quinta generación** (QG). En libros de texto sobre las ciencias de la computación y los ordenadores, en particular los anteriores a los años 70, es frecuente encontrarse con la división de primera, segunda y tercera generación de ordenadores (vid. Tabla I) esta última llegando a las estribaciones de la década de los 70. El término cuarta generación se ha empleado realmente poco (y comprendería el estado actual de los sistemas comerciales). Por último, la quinta generación parece un término consagrado para designar a los sistemas de ordenador que podrían estar comercialmente disponibles a principios de los noventa.

### LA QUINTA GENERACION: EL PUNTO DE VISTA JAPONES

Los japoneses ya han demostrado que son capaces de estar autónomamente en primera línea de las innovaciones tecnológicas, desdibujando la tradicional imagen de "fotocopiadoras". Existen grupos japoneses importantes, para citar áreas directamente relacionadas con el tema de este artículo, de investigadores en ramas básicas de las ciencias de la computación: algorítmica, teoría de la computación, sistemas cibernéticos, inteligencia artificial, etc. etc.; lo cual parece ser un buen indicador del potencial innovador de un país. Si a esto se añaden sus bien conocidas características nacionales: sentido de la responsabilidad, disciplina colectiva, es natural que el proyecto elaborado por el Ministerio Japonés de Comercio Internacional e Industria haya causado una seria preocupación en las grandes empresas de ordenadores en los países occidentales. Veamos cuáles son las ideas japonesas en torno a esta quinta generación (nuestra referencia básica son las actas de la citada Conferencia).

#### Requerimientos funcionales de la quinta generación

La breve historia de los ordenadores electrónicos está caracterizada por una continua resolución de problemas. En este sentido, la quinta generación (QG) no es una excepción. Se pueden agru-

(Continúa en pag. 31)

**TABLA I: UNA CARACTERIZACION GROSSO MODO DE LAS SUCESIVAS GENERACIONES DE SISTEMAS DE ORDENADOR**

Primera generación	Válvulas
Segunda generación	Transistores
Tercera generación	Circuitos integrados
Cuarta generación	Circuitos LSI y VLSI
Quinta generación	VLSI - Inteligencia Artificial



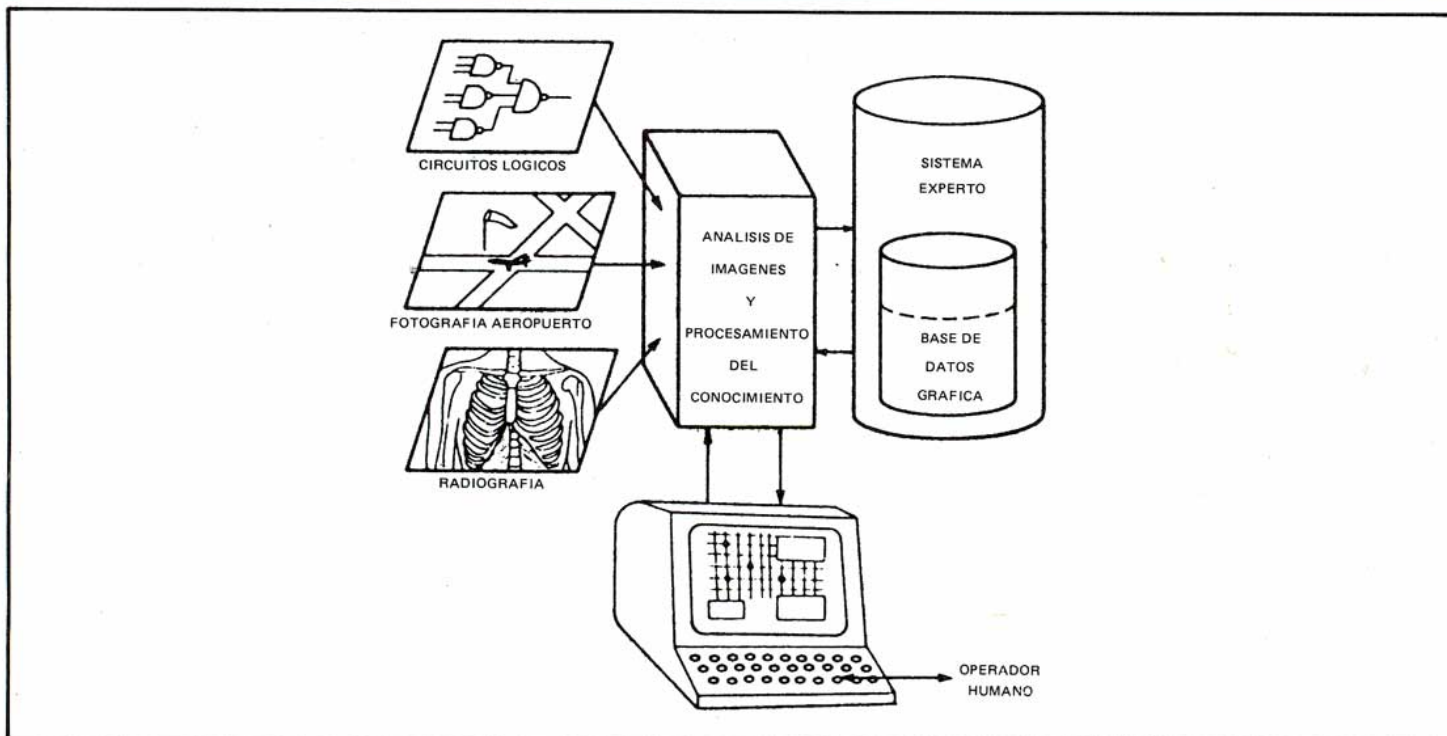


Figura 1.— Diagrama de bloques funcional de un sistema de procesamiento de imágenes basado en un sistema experto.

## ARQUITECTURAS DE ORDENADORES PARA PROCESAMIENTO DE IMAGENES

Existen básicamente tres áreas de trabajo en torno a la comunicación avanzada hombre-máquina: (a) procesamiento de lenguajes naturales, (b) análisis/síntesis de la voz y (c) reconocimiento y procesamiento de imágenes.

El procesamiento de imágenes se caracteriza por el manejo de grandes bases de datos en donde se almacena la información gráfica. Esto supone algoritmos complejos que requieren una elevada velocidad de computación; lo cual exige a su vez arquitecturas de ordenadores especializadas, que pueden agruparse en tres configuraciones básicas:

- Ordenadores pipeline.
- Procesadores en array.
- Multiprocesadores.

El papel de la tecnología VLSI en los sistemas de procesamiento de imágenes es difícilmente exagerable. Esta tecnología ha hecho posible integrar directamente en chips especializados algoritmos de procesamiento de imágenes en el nivel menos inteligente (ver la figura 1 de este recuadro). El procesamiento del sistema experto gráfico es hoy día un área de intenso desarrollo e investigación con resultados todavía modestos.

En la medida que vayan resolviéndose los problemas teóricos, es decir, se diseñen algoritmos computables, aparecerán las correspondientes implementaciones. Por ejemplo, en la tabla 1 de este recuadro se recogen (Computer, Enero 1983), en orden creciente de complejidad, posibles implementaciones VLSI de algoritmos relacionados con el procesamiento de imágenes.

TABLA 1: ALGUNOS ALGORITMOS RELACIONADOS CON EL PROCESAMIENTO DE IMAGENES CON POSIBLE IMPLEMENTACION VLSI (COMPUTER, 1983)

Procesamiento de imágenes.	Filtrado, detección de bordes, segmentación, restauración, clustering, análisis textual, convolución, análisis de Fourier, etc.
Reconocimiento de formas.	Extracción de características, acoplamiento de patrones, clasificación estadística, algoritmos de grafos, análisis sintáctico, reconocimiento lingüístico, detección de cambios, análisis/síntesis de escenas.
Procesamiento de imágenes mediante preguntas/respuestas.	Descomposición de cuestiones, optimización de cuestiones, manipulación de atributos, reconstrucción de imágenes, algoritmos de búsqueda y clasificación etc.
Bases de datos gráficas.	Operadores relacionales (unión, intersección, proyección...), recuperación de semejanzas, estructuras de datos, gestión de colas, programación dinámica, etc. etc.

En este sentido, actualmente sólo se dispone (a nivel comercial) de implementaciones pertenecientes a los dos primeros grupos: procesamiento de imágenes y reconocimiento de formas (que corresponden al bloque menos "inteligente" de la figura 1).

Por último, para dar una breve idea de la importancia y al mismo tiempo complejidad de este área de las ciencias de la computación, citamos algunas de sus actuales problemáticas:

- Desarrollo de arquitecturas VLSI para procesamiento rápido de imágenes, así como de chips para aplicaciones de reconocimiento de formas en tiempo real.
- Desarrollo de la organización y acceso de las bases de datos gráficas.

— Desarrollo de técnicas de compresión/decompresión para la transmisión de imágenes.

— Avanzar en la teoría básica del reconocimiento de formas visuales.

— Promover aplicaciones del procesamiento de imágenes en áreas como biomedicina, comunicaciones remotas, CAD/CAM, automatización de oficinas, etc., etc. (siguiendo la idea de que el planteamiento de nuevas aplicaciones es un acicate para los avances tecnológicos).

— Investigación y desarrollo de técnicas de procesamiento no secuencial.

— Integración de los sistemas de procesamiento de imágenes con las técnicas de procesamiento de la voz y de los lenguajes naturales. ■



(Viene de pág. 28)

par los problemas de la QG en los tres siguientes bloques:

- Mejora de la relación hombre-máquina.

- Reducción de la carga de generación del software.

- Respuesta a necesidades socio-económicas.

Constituye un lugar común, bien conocido de los usuarios de ordenadores, la relación tan incómoda y agotadora con un computador. A pesar de toda esa literatura-ficción tan de moda sobre idilios hombre-máquina\*, para la inmensa mayoría de los humanos involucrados, la relación con los ordenadores está lejos de ser **simple**. Los lenguajes de programación como medio de comunicación más extendida con el computador, se encuentran tremendamente alejados de los lenguajes naturales; y no hablemos de la imposibilidad de comunicación mediante los sentidos: vista, tacto, sonido, etc.

Contrariamente a lo que a veces se dice, el interés, al menos intelectual, de "humanizar" la relación hombre-máquina no estriba tanto en hacerlos más asequibles a los mortales, como en la posibilidad de ir descubriendo cosas que sabemos hacer, que hacemos, pero que ignoramos cómo. Naturalmente, el esfuerzo japonés no tiene como finalidad el socrático "conocerse a sí mismo", sino el económico "vender más y mejor". Por eso, el desarrollo de la relación hombre-máquina significa:

- 1. Funciones de entrada/salida más cercanas al hombre (voz e imagen, principalmente) que sirvan para una comunicación más completa que los simples listados o gráficas actuales.**

- 2. Capacidad de procesar lenguajes naturales.**

Esto es una falacia, si se consi-

deran el estado actual de la problemática (véase en este mismo artículo el recuadro sobre los denominados sistemas expertos).

- 3. Capacidad de utilización práctica del "conocimiento" (es decir, información compleja) almacenado en el sistema de ordenador. Esto también está relacionado con los sistemas expertos.**

- 4. Capacidad de aprendizaje, asociación de datos e inferencia de conclusiones.**

Es decir, posibilidad no sólo de una utilización del conocimiento almacenado, sino incluso de transformarlo.

En cuanto a la problemática del software (segundo gran bloque de problemas de la QG), los principales puntos inicialmente considerados en el proyecto japonés son los siguientes.

- 1. Generación automática del software a partir de unas especificaciones de entrada.**

El coste del desarrollo y mantenimiento del software es actualmente superior al coste del hardware. Esto se agrava por la tendencia hacia una creciente necesidad de software.

- 2. Obtención de un nuevo lenguaje de programación con capacidad de validación de programas y creación de una arquitectura de ordenador adaptada a este lenguaje.**

Los primeros ordenadores se programaban a nivel máquina (esto es, de "ceros" y "unos"). Los lenguajes ensambladores permitieron que los programadores "pensasen" en un nivel más general: el nivel de los registros. Los primeros lenguajes de alto nivel se desarrollaron con el objetivo de posibilitar el manejo de ciertas estructuras mentales, especialmente de tipo numérico, con independencia del ordenador empleado (excepto cuando se busca la optimización en tiempo de procesamiento, por ejemplo).

Los lenguajes de alto nivel más recientes, PASCAL y ADA en particular, se han propuesto nuevos objetivos; concretamente, la generación de un software más fiable. Todavía se está en los comienzos.

- 3. Mejora del entorno de programación en lo que a interfaces se refiere.**

Para optimizar la producción de software no basta con mejorar los lenguajes de programación. Es necesario disponer de medios que favorezcan la labor de los programadores, siendo uno de los medios más potentes las bases de datos.

- 4. Aprovechamiento del software disponible.**

Una problemática típica de la programación es la referente a su flexibilidad y portabilidad. La QG deberá enfrentarse al compromiso entre un software optimizado por una parte y un software compatible por la otra.

El tercer bloque de temas se refiere a la problemática socio-económica. En realidad, leyendo el informe sobre la QG, todo se reduce al segundo aspecto, es decir, el interés económico. Pasamos a comentarlos.

- 1. Mejora de la relación costo/rendimiento.**

- 2. Ordenadores más compactos y más ligeros.**

- 3. Ordenadores de gran capacidad de almacenamiento y de gran velocidad.**

Según los autores del informe en cuestión, el aumento de la velocidad va a permitir desarrollar aplicaciones nuevas. Esto, que parece fuera de toda duda, está relacionado a su vez con otra limitación mucho más importante, que no es otra que la "complejidad" o, si se prefiere, la computabilidad. Es decir, la existencia o no de una solución **computable** para un determinado problema.

(\*) Incluimos en las referencias bibliográficas dos publicaciones recientes sobre este tema: SIMONS (1983) y WARRICK (1979).



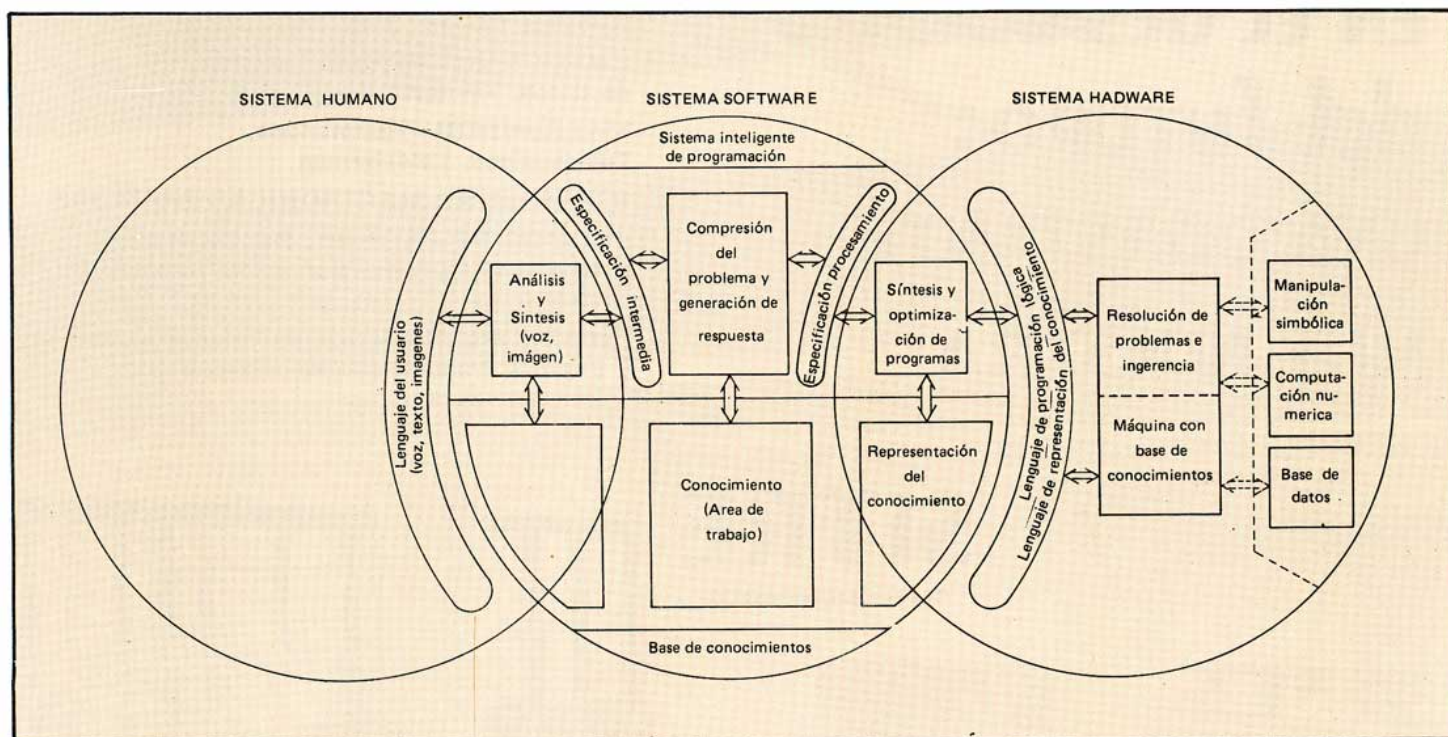


Figura A.— Diagrama de bloques conceptual de un sistema de ordenador de la quinta generación.

4. Mayor diversificación y adaptabilidad.

5. Alta fiabilidad.

6. Funciones sofisticadas de protección de secretos.

No podría faltar una referencia a lo que constituye hoy un fenómeno que está adquiriendo una proporción considerable: la manipulación fraudulenta de la información almacenada en un sistema de ordenador.

En la figura A puede verse un diagrama de bloques conceptuales de un sistema de ordenador de la QG. Los círculos representan respectivamente el usuario humano, el subsistema software y, por último, la máquina física o hardware.

## EL ESTADO ACTUAL DE LOS CONOCIMIENTOS TEÓRICOS Y DE LA TECNOLOGÍA

A partir de los setenta, con el desarrollo espectacular del hardware, gracias a las tecnologías LSI y VLSI, se ha venido hablando de la

denominada crisis del software.

Aunque se ha caracterizado esta crisis fundamentalmente como un problema económico, con ser este factor importante, la crisis del software refleja una realidad que no es otra que las limitaciones intelectuales del género humano, que dispone de una tecnología computacional (hardware + software) infrautilizada por ignorancia de sus usuarios. Es como si de repente a través del túnel del tiempo, un hombre de Cromagnon se encontrara con papel y un lápiz.

Los aspectos tecnológicos que comentamos a continuación se encuentran con esta limitación teórica.

### 1. Tecnología VLSI

Los sistemas de ordenador apenas se han visto influidos por el desarrollo del VLSI, excepto en los subsistemas de almacenamiento de la información (los microprocesadores de 32 bits de Intel, el iAPX432, y de los laboratorios BELL, el Mac-32, son ejemplos atípicos de processores VLSI, aun-

que el desmesurado coste de su fabricación los hace hoy por hoy antieconómicos).

La razón se debe, en palabras de Gordon Moore, presidente de Intel Corporation, a que "más allá de los sistemas de memoria, no tengo la menor idea de cómo aprovechar la tecnología VLSI... El problema es cómo hacer el mejor uso de la tecnología de procesamiento disponible" (citado de Treleven, 1982). Nos encontramos con una limitación nueva, distinta a las limitaciones "intelectuales" o de software que comentábamos más arriba. Esta nueva limitación es debida pura y simplemente al modelo de procesamiento tradicional de los ordenadores digitales, esto es, el modelo secuencial de von Neumann.

La quinta generación de ordenadores, a fin de aprovechar esta tecnología VLSI, deberá desarrollar organizaciones de ordenador distintas a la de von Neumann, tema éste que constituye un área activa de investigación y desarrollo (Por cierto, las contribuciones punta no provienen precisamente del

(Continúa en pág. 36)



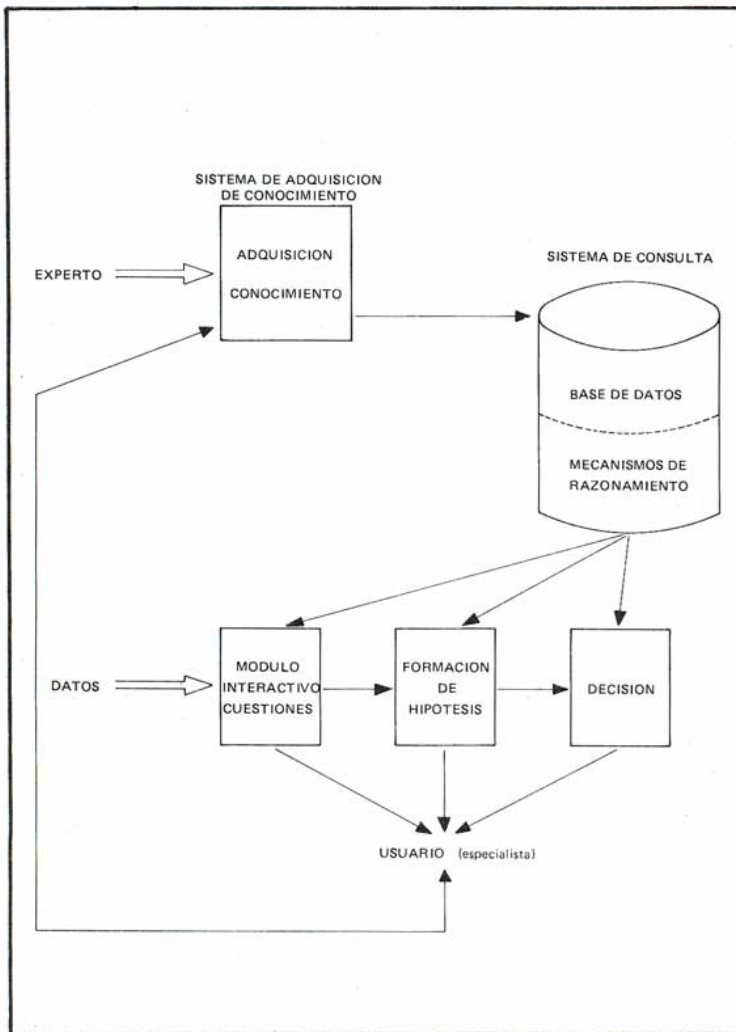


Figura 2. Diagrama de bloques funcional de un sistema experto basado en ordenador

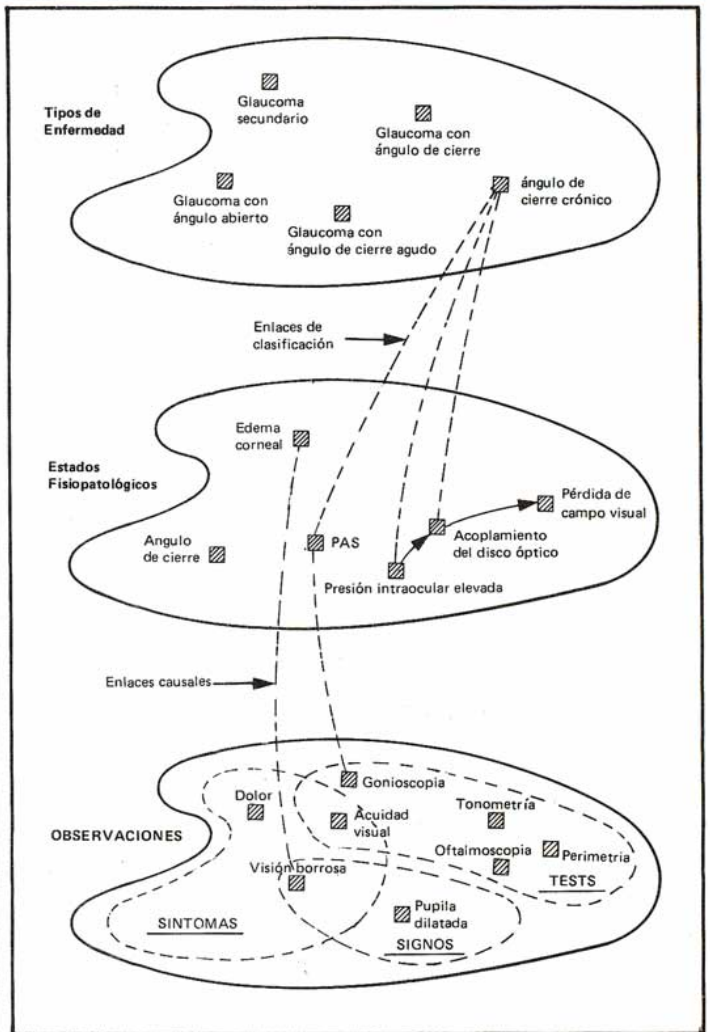


Figura 3. Los tres niveles del sistema experto CASNET.

## SISTEMAS EXPERTOS

Los sistemas expertos basados en ordenador pueden definirse como sistemas de ordenador que contienen conocimientos especializados sobre una determinada área, pudiendo interactuar con expertos en ella.

Este campo de la IA requiere, desde el punto de vista hardware, una gran capacidad de información, no presentando problemas especiales de tiempos de computación (excepto en los denominados sistemas expertos gráficos). Su problemática es casi exclusivamente software y sus limitaciones son las limitaciones de nuestros conocimientos actuales acerca de los mecanismos de la inteligencia.

La fig. 2 prepresenta el diagrama de bloques funcional de un sistema experto.

Aunque el área de conocimiento en donde se ha desarrollado un mayor esfuerzo es el de la Medicina, los sistemas expertos están llamados a invadir todos los campos de conocimiento; de hecho, se ha llegado a caracterizar a la quinta generación como la generación de los sistemas expertos.

Un ejemplo típico: CASNET ■

El sistema Causal Associational Network (CASNET) se desarrolló en la Universidad de Rutgers (USA) para la ayuda al diagnóstico médico. Su aplicación más importante ha sido a la enfermedad denominada glaucoma.

CASNET contiene tres niveles de conocimiento, que se muestran en la figura 3 de este recuadro. El nivel fisiopatológico es el corazón del sistema. Los nodos representan hipótesis básicas sobre el proceso de la enfermedad. Los arcos orientados representan una relación causal entre dos hipótesis elementales. Así, por ejemplo, "un aumento de la presión intraocular" causa (en realidad, puede llegar a causar) "un edema corneal". Como se indica en la figura, las relaciones dentro del nivel fisiopatológico se denominan enlaces causales. Cada enlace causal tiene asociado un peso variable entre 1 y 5 que corresponden a "raramente produce" y a "casi siempre produce", respectivamente. Estos pesos pueden en principio variar a lo largo del tiempo (aprendizaje por la experiencia), aunque en un dominio de conocimiento tan restringido como es el de las glaucomas se tiene una certidumbre relativamente alta (escasa necesidad de aprendizaje) sobre las causas y los efectos.

El nivel de las observaciones engloba toda la información recogida sobre el paciente que se agrupa en signos, síntomas y pruebas de laboratorio. Los modos de observación están relacionados con los nodos del nivel fisiopatológico, a través de los enlaces asociativos, que también poseen pesos de confianza. Por ejemplo, un estocoma (una medida de perímetro) significa normalmente una pérdida del campo visual, por lo que su peso de confianza es igual a 5.

Finalmente, está el nivel correspondiente a las categorías o tipos de la enfermedad. Los enlaces de clasificación relacionan uno o generalmente varios nodos del nivel fisiopatológico con cada categoría de glaucoma. En la figura 2 sólo se ha representado, por razones de claridad, el diagnóstico de ángulo de cierre crónico.

Por último, para acabar con esta brevísima referencia a un sistema experto real, diremos que la comunicación del médico especialista con el sistema CASNET se efectúa a través de un muy restringido subconjunto del inglés: como es sabido, el procesamiento automático de los lenguajes naturales continúa siendo un tabú.



(Viene de pág. 33)

Japón, sino de los países occidentales, especialmente de USA).

### 3. Importancia de la tecnología de las comunicaciones

Los sistemas de ordenador de los años noventa estarán basados en redes de comunicación, siguiendo la actual tendencia hacia los sistemas distribuidos.

### 4. Técnicas de procesamiento paralelo

El aumento de la velocidad de operación de los dispositivos físicos está limitado por el cuello de botella del modelo de procesamiento secuencial.

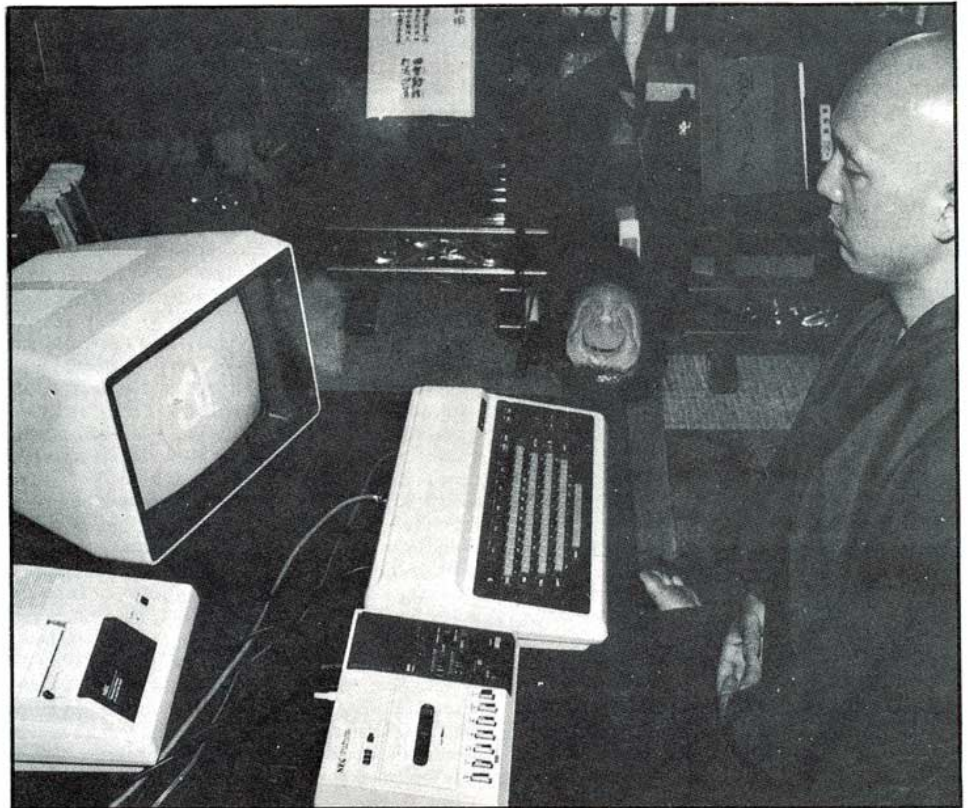
### 5. Tecnología del software

El software, desde hace años, constituye un problema serio en los sistemas de ordenador, por su elevado coste, su baja fiabilidad, su falta de comunicabilidad, etc., etc. Uno de los objetivos básicos en el proyecto de la QG es el diseño de un lenguaje de programación que permita reducir estos inconvenientes operacionales del software.

### 6. Avances en inteligencia artificial

Nuevamente aparece lo que denominábamos limitaciones intelectuales. Los avances más espectaculares de la subsodicha QG, en relación a lo que existe actualmente, dependerán de lo que se progrese en IA.

Cuando Feigenbaum escribe en las actas de la conferencia de Tokyo: "el problema crítico de los sistemas de la quinta generación son problemas de software" o esto otro: "los ingenieros de hardware son "concept-limited", no "component-limited"... y la pregunta que se hacen es ¿ahora que podemos colocar virtualmente cualquier cosa en un chip, qué **ideas** hay que meter en un chip?" (el subrayado es nuestro), les está recordando a los japoneses la importancia decisiva de la investigación básica en IA, y que sin avances en la teoría,



Monje budista utilizando un modesto ordenador personal (¿tercera generación y media? ).

sin la aparición de nuevas ideas para meter en un chip, su tan cacareada quinta generación no va a significar ningún progreso real.

### NOTA FINAL

Leemos en The Institute (suplemento del IEEE Spectrum) de Julio de 1983 que los 855 millones de dólares del presupuesto para 10 años de la QG japonesa equivale aproximadamente a un tercio del coste de un avión nuclear y algo menos de la mitad del presupuesto en I + D de IBM (empresa que por cierto dejó de interesarse en la IA a finales de los sesenta).

### REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Nos limitamos a incluir únicamente, por orden alfabético de autores, las publicaciones citadas en el artículo.

- [ 1 ] E.A. FEIGENBAUM et al. (1981-82).— The Handbook of Artificial Intelligence. (Tres volúmenes). Pitman, London.

Esta obra es un compendio casi exhaustivo del estado actual de la IA. Si se hace realidad el proyecto japonés, sus performances estarán

determinadas por la problemática tratada en esta publicación.

- [ 2 ] J.L. FLANAGAN (1982). "Talking with Computers: Synthesis and Recognition of Speech by Machines". IEEE Trans. Biomedical Engineering, Vol. BME-29, April, pp. 223-232.

El director del Departamento de Investigación en Acústica de los Laboratorios de la Bell describe la problemática actual en la comunicación hombre-máquina a través de la voz.

- [ 3 ] W.B. GEVARTER (1983).— "Experts Systems: Limited but Powerful". IEEE Spectrum, Vol. 20, August, pp. 39-45.

Reciente y bien documentado informe divulgativo sobre los sistemas expertos.

- [ 4 ] T.J. HEALY (1981).— "Machine Intelligence and Communications in Future NASA Missions". IEEE Communications Magazine, Vol. 19, November, pp. 8-15.

Recensión de un seminario organizado por la NASA en el verano de 1980 en Santa Clara, California (buena época y buen lugar para hacer elucubrar a la gente) sobre



las posibilidades de aplicar la IA en las misiones de la NASA.

- [ 5 ] T. MOTO-OKA, Ed. (1982).— **Fifth Generation of Computer Systems**. North-Holland, Amsterdam.

Las actas de la Conferencia Internacional sobre la autodenominada quinta generación, tema de este artículo.

- [ 6 ] G. SIMONS (1983).— **Are Computers Alive?** The Harvester Press, Brighton.

Recién publicado, este libro aborda la problemática inherente a las relaciones entre los seres humanos y los computadores. Se llega a hablar de ciertos "derechos civiles" para los robots. Esto puede parecer ridículo o algo peor; pero deja en el lector la sensación de que está apareciendo una nueva patología psicológica y social: el programador compulsivo, según la terminología de Weizenbaum.

- [ 7 ] H. TENNANT (1981).— **Natural Language Processing**. Petrocelli Books, New York.

Destaca por el excelente engarce de los análisis sintáctico y semántico.

- [ 8 ] P h . C . T R E L E A V E N (1982).— "VLSI Processor Architectures". **Computer**, Vol. 15, June, pp. 33-45.

Según el autor, las nuevas arquitecturas VLSI de procesadores están abriendo el camino a una nueva generación de sistemas de ordenador.

- [ 9 ] Varios autores (1982).— "Highly Parallel Computing". **Computer**, Vol. 15, January.

Número monográfico que recoge contribuciones sobre un tema importante para la quinta generación, con un enfoque más realista que el informe japonés.

- [10] Varios autores (1983).— "Compu-

ter Architectures for Image Processing". **Computer**, Vol. 16, January.

- [11] P.S. WARRICK (1979).— **The Cybernetic Imagination in Science Fiction**. MIT Press, Cambridge, Mass.

En donde se incluye la Metamorfosis de Kafka dentro de la ciencia-ficción relacionada con la Cibernética. Quizás Gregorio Samsa no se convertiría hoy en un insecto, sino en un robotito. Es un tópico sacar a relucir estos temas, pero la intuición de los literatos, su estado de ánimo, ha sido en ocasiones mucho más certera que la de los científicos.

- [12] S.M. WEISS et al. (1978).— "A Model-Based Method for Computer-Aided Medical Decision-Making". **Artificial Intelligence**, Vol. 11, pp. 145-172.

El sistema experto CASNET descrito por sus autores. ■

El proyecto japonés de la quinta generación concede una gran importancia al desarrollo de la comunicación hombre-máquina a través de la voz. Conviene, no obstante, comentar las limitaciones de este tipo de comunicación.

La síntesis artificial de la voz es un área en la que se han construido sistemas de relativa sofisticación en los tres aspectos que suelen considerarse (Flanagan, 1982): a) calidad de sonido e inteligibilidad; b) versatilidad y fluidez de los mensajes y c) complejidad y coste de la implementación.

La máquina, para llegar a una interacción completa con el hombre, debe ser capaz de escuchar. Contrariamente a la síntesis, el análisis de la voz se encuentra en un estado muy primitivo, ya que los sistemas comercializados o en desarrollo "manejan" un vocabulario muy limitado, siendo necesaria en general una fase de "training" con el interlocutor.

Nótese que la problemática del análisis de la voz está dentro de lo que en procesamiento de lenguajes naturales se conoce como análisis sintáctico. Es decir, la máquina no entiende el significado de las palabras y frases que está reconociendo (de ahí que escribiéramos entre comillas la palabra "manejar" un vocabulario), simplemente las identifica. El gran escollo del procesamiento de los lenguajes naturales es el denominado análisis semántico. Una ilustración de lo anterior puede verse en la figura 4, que corresponde a una parte del analizador sintáctico (Flanagan, 1982) empleado por una com-

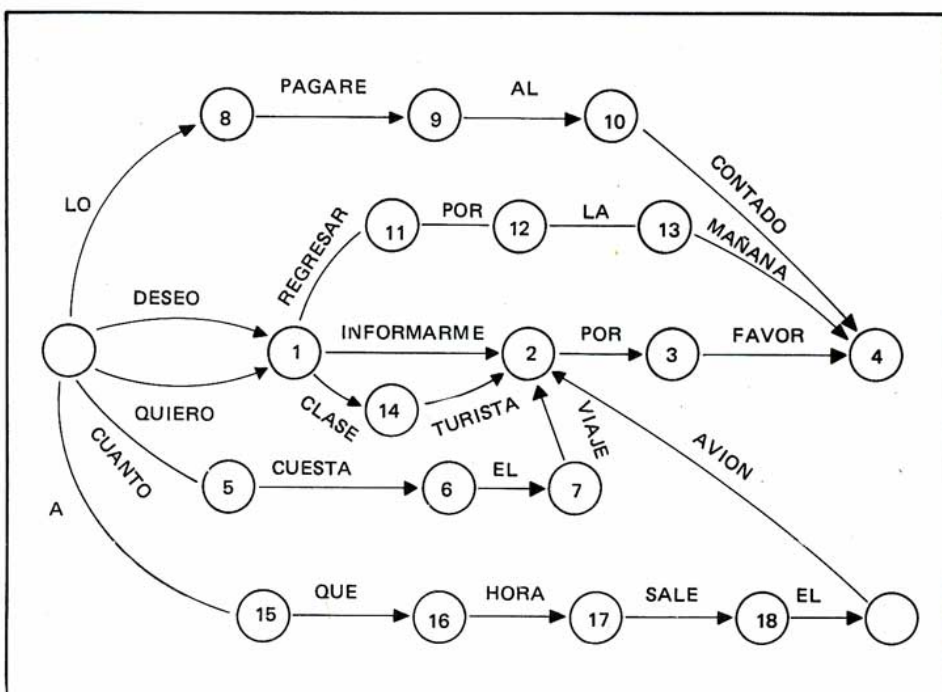


Figura 4. Diagrama parcial de estados/transiciones del analizador sintáctico citado en el texto (adaptado de Flanagan, 1982).

pañía de líneas aéreas. Este analizador emplea un vocabulario de 127 palabras, 144 estados (que son los nodos del diagrama) y 450 transiciones (las flechas entre estados, que son disparadas por una palabra).

Este autómata, que se limita a saltar de

estado en estado, una vez que el analizador de voz reconoce un vocablo, no entiende qué se le está pidiendo. Afortunadamente, si el cliente de la compañía respeta el repertorio de vocablos y transiciones del autómata, acaba recibiendo un servicio satisfactorio. ■