INFORMATICA, AUTOMATIZACION Y COMPUTADORES

Por *R. Ortiz Fornaguera* *

T. Iglesias *

G. Velarde *

En el presente artículo se consideran algunos aspectos funcionales y la estructura de las relaciones que existen entre la informática, de una parte, y la automatización, de otra, con el computador electrónico digital como elemento de enlace. No hay necesidad de entrar en pormenores para que queden de manifiesto las enormes posibilidades que los centros de cálculo dotados de computadores electrónicos digitales brindan al desarrollo técnico, económico y social de una colectividad humana. El computador, con su capacidad de "dialogar" con el hombre, se transforma en herramienta mental para éste, aunque sólo en herramienta. Por otra parte, el computador es también capaz de recibir estímulos de una máquina, reaccionar a ellos según un programa y modificar el comportamiento de la primera. De aquí la regulación y control de máquinas por computadores. Finalmente, se examina el serio problema que plantea la formación de especialistas capaces de explotar al máximo el potencial que se encierra en los computadores, en la informática y en la automatización.

(*) Junta de Energía Nuclear. División de Física Teórica y Cálculo de Reactores.

Informática y automatización

Se ha dicho —y pocas dudas pueden caber acerca de ello— que la primera revolución industrial se centró en torno de una disponibilidad cada vez mayor de energía. La energética, que ideaba y proporcionaba recursos para la obtención de energía, hizo posible la mecanización de los trabajos de producción y un acercarse al dominio físico del mundo. Hoy, la segunda revolución industrial se construye, de un lado, en torno de una disponibilidad cada vez mayor de información; del otro, en torno de la automatización de los procesos industriales. Esta revolución está en marcha.

Frente a la información, la informática representa un papel en todo análogo al de la energética con relación a la energía: la energía está ahí y la información está ahí, potencialmente; pero la energía hay que llevarla a una forma actual y transformarla, y la información hay que recopilarla y tratarla. Esto último es el objeto de la informática: recopilar y tratar la información. La informática hace así posible la mecanización de los trabajos mentales en lo que tienen de rutinario y nos acerca a un dominio mental del mundo en el sentido de que per-

mite al hombre dedicarse íntegramente a lo que le es privativo: la labor creadora y el tomar decisiones. En efecto, incrementar la cantidad de información disponible y, sobre todo, *manejable* significa, entre otras cosas, aumentar nuestra libertad de elección. Es algo trivial, pero que a veces se olvida, que un dato que existe, pero que el individuo desconoce, no existe para él —como sucede con los recursos energéticos que han escapado a la prospección. Por lo tanto, para aumentar la eficiencia de las operaciones que llevan a cabo los órganos de Gobierno, las instituciones educacionales, las de investigación científica y técnica, las industrias y las firmas comerciales, los órganos de defensa nacional, es necesario llevar al máximo la información con que se cuenta y disponerla de tal manera que sea accesible cuando se requiera, en el instante preciso.

Pero es obvio que el tratamiento de grandes cantidades de información en estas condiciones sólo es posible si puede llevarse a cabo de manera automática. Precisamente en este punto es donde la automatización entra en contacto con la informática. El elemento que hace de la recopilación y tratamiento de la información un proceso automático es el computador. Es claro, por lo tanto, que con el reciente y continuado desarrollo de las técnicas de computadores se han abierto horizontes insospechados a las aplicaciones de la informática. Pero antes de considerar las cosas desde este punto de vista, conviene subrayar un aspecto importante de la cuestión.

En la palabra "información" se recogen matices conceptuales diferentes. En particular, la teoría clásica de la información ignora en absoluto el *valor* de la información que se manipula, transmite o somete a tratamiento. No considera el problema general de cómo introducir en la teoría el concepto de valor de la información. Y, sin embargo, este elemento nuevo —el de valor de la información— es del todo necesario cuando se considera la información no en sí misma, sino como base de predicciones e incluso para su uso en la práctica. Por ejemplo, dado un modelo matemático (digamos, un modelo balístico), aunque el resultado de un cálculo correcto (posición y velocidad del proyectil en un instante dado) no contiene más información que la que contienen los datos de entrada (posición y velocidad iniciales del proyectil), el *valor práctico* de la información contenida en el resultado es mayor para el usuario que el de la información original. En lo que sigue, cuando se habla de información, nos referimos no sólo a la información en sí, sino en tanto que es soporte de un valor para un determinado individuo. No entraremos en qué debe entenderse por valor de la información. Sólo señalaremos que este concepto es relativo, puesto que el valor de una información es valor *para* un individuo y, por consiguiente, depende de éste. La información que interesa a uno puede dejar del todo indiferente a otro. Pero es claro que sólo el valor de la información —valor económico, científico, técnico, militar— justifica el hacer frente a los costes considerables que supone la utilización de un computador digital, único tipo de computador de que se hablará aquí.

Computadores

Es un hecho que los computadores representan un papel cada vez más importante en todos los aspectos de la vida de un país —el industrial, el comercial, el científico y técnico, el de defensa—. Su rápido desarrollo ha hecho posible la aplicación de métodos y el empleo de modelos en los que no cabía ni soñar antes de su aparición en escena. A su vez, para conseguir de estos métodos y de estos modelos el máximo rendimiento se requiere, por lo general, cantidades muy considerables de datos. Recoger, ordenar y, a menudo, depurar y evaluar estos datos puede suponer la utilización de computadores más desarrollados que aquellos de que hoy se dispone. Esta situación se produce en las más diversas esferas de la vida nacional: cuando se cuenta con un computador, es posible acudir a métodos más o menos conocidos, pero que eran inaplicables cuando no se disponía de él; se cae entonces en la cuenta que dichos métodos pueden perfeccionarse e incluso sustituirse por otros más refinados... con tal de tener acceso a un computador de mejores características que las del que se posee. Y así sucesivamente.

Dicho de otra manera: el uso de un computador pone en marcha un proceso de "realimentación" por el cual el primero acaba por provocar el diseño y realización de otro computador más capaz que lo sustituye. En particular, a la vez que se desarrollan nuevos tipos de computadores, avanzan las técnicas de tratamiento de la información y su avance estimula el diseño de computadores más capaces, más veloces y de coste por operación más bajo.

Como en el caso de muchas otras tecnologías, el primer impulso que puso en marcha la tecnología de los computadores se debió a sus posibles aplicaciones militares. Por ejemplo, aumentar el rendimiento de las armas nucleares suponía resolver toda una serie de problemas físico-matemáticos muy complejos, tan complejos que sólo cabía pensar en su resolución si se contaba con la ayuda de los computadores. El primer computador comenzó a funcionar en 1946, y su empleo permitió triplicar el rendimiento de las bombas de Hiroshima y Nagasaki. Posteriormente, el empleo de computadores gigantes (Larc, Stretch) hizo posible no sólo aumentar más todavía el rendimiento de las bombas nucleares de fisión, sino proyectar y fabricar las nuevas bombas basadas en la fusión nuclear. Dados ya los primeros pasos y ante el éxito que los acompañó, se pensó inmediatamente en la explotación comercial de los computadores con vistas a su utilización con fines no militares.

Durante los últimos quince años, las velocidades de los computadores han aumentado en un factor 1000, los costes por operación han disminuido de 400 a 1 y la capacidad de la memoria ha crecido en un factor 1000. Claro está, todas esas cifras son meros órdenes de magnitud y no deben tomarse como válidas para todas las aplicaciones. De una manera más concreta, la figura 1 presenta cuál ha sido —y cuál parece va a ser— la tendencia de los costes de resolución de un problema científico en un computador entre 1956 y 1970. Como índice de mérito se ha tomado la razón del alquiler mensual (en dólares) a la velocidad del computador (referida a la de un IBM 7030 como unidad). Incluso dejando a un lado el notable descenso general de los costes, obsérvese la brusca caída que se produjo en 1965, caída que representa la disminución de los costes casi en un factor 10. Al parecer, la razón de esta bajada fue doble. De una parte, la competencia entre IBM y las nuevas firmas que comenzaron a lanzar sus máquinas al mercado —CDC (Control Data Corporation), GE (General Electric), UNIVAC, PHILCO, etc.—. Por otra parte, el desarrollo de la tecnología de los circuitos integrados. Estos circuitos son de manufactura más barata, son más fiables y, además, el proceso de manufactura puede automatizarse. Sea como fuere, el hecho es que existen problemas cuya resolución en una IBM 704 hubiera costado en 1956 unos 800 $, y hoy pueden resolverse en los computadores modernos por 8 $.

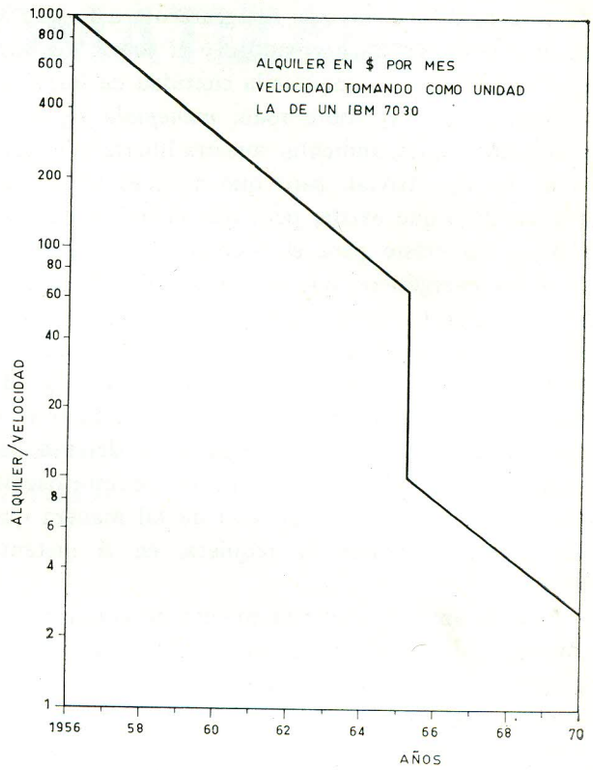


FIG. 1.—*Tendencia de los costes.*

Antes de proseguir, se describirán en términos generales algunos conceptos que van a intervenir en lo que sigue. Una de las razones para hacerlo es que la correspondencia palabra-concepto no es del todo unívoca en este campo. Y ello es así, simplemente, porque la constante y rápida evolución de esta tecnología y el hecho de que se desarrolle en centros muy diversos han representado un serio obstáculo para el uso de una terminología común. No obstante, hay un sentido general de los términos que es el que se indica a continuación.

"Hardware" y "Software".—En primer lugar, un hecho: si al alquilar o adquirir un computador sólo se nos entregara el conjunto de dispositivos mecánicos, magnéticos, eléctricos y electrónicos de que se compone el sistema —es decir, lo que se suele llamar el *hardware*— convenientemente instalado y comprobado su buen funcionamiento, bien poco podríamos hacer. En efecto, para transformar el potencial del sistema en algo actual, real, son necesarios, *por lo menos,* un conjunto de programas de finalidad general que permitan el "diálogo" usuario-computador, es decir, el llamado *software.* Estos programas se suministran con el sistema computa-

dor (el "hardware") y es extraordinariamente importante, desde el punto de vista económico, saber qué cantidad de "software" se entregará junto con aquél, sin coste adicional. En un sentido más general, son también "software" los programas preparados para resolver los problemas específicos del organismo u organismos que utilizan el computador. Por su vinculación a un tipo determinado de máquina y su orientación hacia un tipo determinado de problemas, su área de aplicabilidad es más restringida que la del "software" en sentido estricto, si bien puede llegar a ser suficientemente amplia como para justificar su utilización en "pool". De esta forma se reducen de hecho los elevados costes de preparación de programas especiales.

La necesidad de programas es evidente: hay que decirle a la máquina qué debe hacer, hay que *programar* su trabajo especificando con todo detalle su tarea, operación por operación (*). Pero la dificultad consiste en que la máquina tiene su lenguaje, el lenguaje de la máquina, y únicamente entiende las instrucciones que se le formulan en este lenguaje; por otra parte, el usuario tiene su lenguaje, y aunque es capaz de traducir éste al de la máquina y recíprocamente, la tarea es pesada y, sobre todo, requiere tiempo y se presta a errores de difícil localización. Aunque en ocasiones no hay más remedio que utilizar el lenguaje de la máquina, aquella incomodidad y la escasez de personas en condiciones de realizar el esfuerzo de dialogar con el computador en el lenguaje de éste, condujo a idear programas compatibles con el lenguaje humano y con el de la máquina que efectúen automáticamente la traducción del uno al otro.

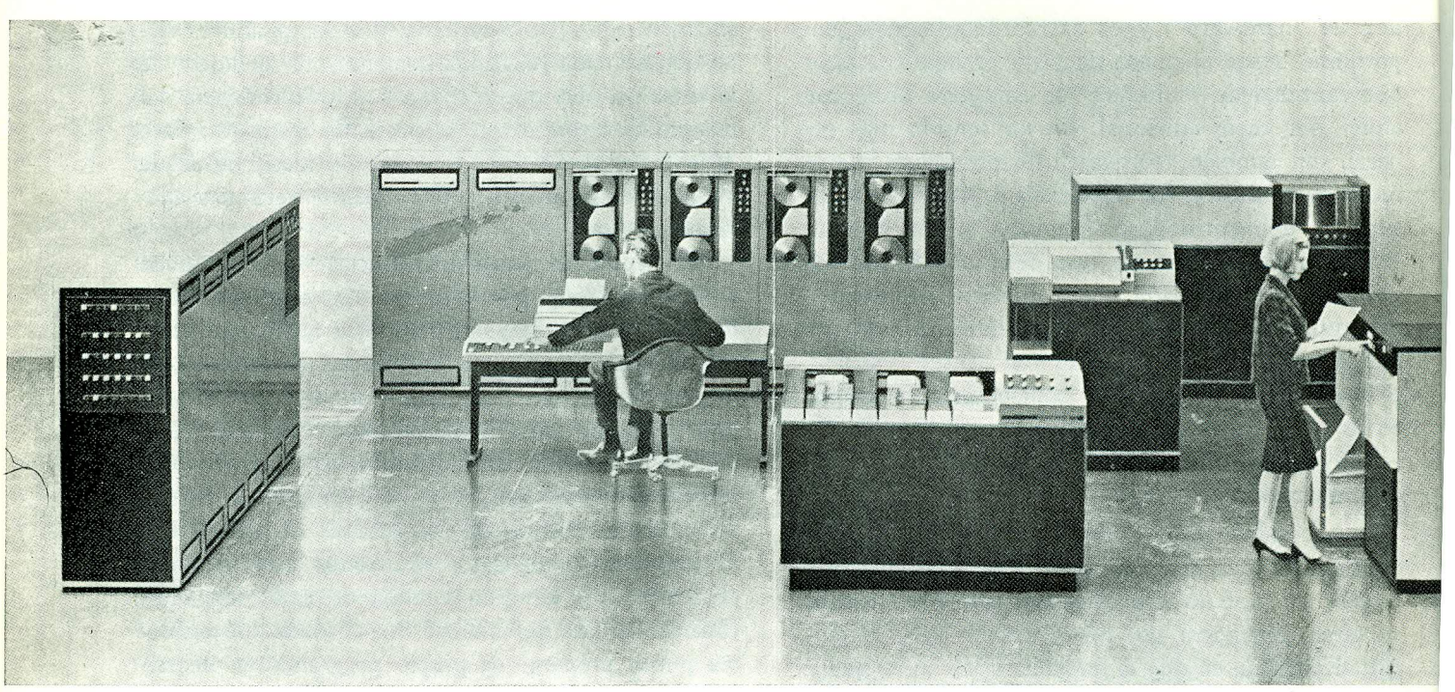
Claro está, supuesto fijo el lenguaje de la máquina, la complejidad del programa traductor dependerá de hasta qué nivel quiere llevarse la aproximación al lenguaje del hombre, es decir, de hasta qué punto quiere reducirse la labor traductora del programador. Es sabido que aquella función traductora la realizan los programas ensambladores, macroensambladores y los compiladores, en orden de aproximación creciente al lenguaje humano. Dejando aquí a un lado los dos primeros tipos de esos "programas para preparar programas", se recordará solamente que la estructura de los compiladores viene determinada fundamentalmente por la índole de la tarea que hay que realizar, con independencia del computador con el que se pretende realizarla. Esto último, en realidad, es un objetivo ideal, difícil de alcanzar en la práctica por lo que se verá más adelante.

En esencia, el compilador traduce al lenguaje de la máquina (programa objeto) lo que el programador ha escrito en un lenguaje simbólico (programa fuente), lenguaje más o menos cercano al que usa en la vida ordinaria en su campo de trabajo. Existen hoy varios de estos lenguajes, entre ellos el FORTRAN (FORmula TRANslation), el ALGOL (ALGOrithmic Language), el COBOL (COmmon Business Oriented Language), el BASIC, el NPL (New Programming Language), etc., todos más o menos especializados. La gran ventaja de estos lenguajes consiste en que quien tiene que resolver un problema puede preparar su propio programa sin necesidad de acudir a un experto en programación.

En realidad, las cosas no son tan simples desde el punto de vista del rendimiento del computador. Aparte el hecho de que el compilador ocupa de suyo una parte no insignificante de la memoria del computador, no hay que perder de vista que una cantidad apreciable de tiempo de máquina se gasta en efectuar la traducción del lenguaje simbólico al de ésa (es decir, en compilar), ensayando programas incorrectos o intentando corregir errores en el uso del propio lenguaje simbólico. Ciertamente, es posible preparar una parte del programa a traducir en un lenguaje de más bajo nivel (acaso en lenguaje máquina), ya que éstos son los que proporcionan la máxima rapidez y flexibilidad en los cálculos. Pero las dificultades se plantean entonces al intentar emplear el programa para resolver el problema con un computador no compatible con el original. En la actualidad, los compiladores que se suministran con el sistema computador permiten esa mezcla de lenguajes en el programa original y forman así parte de su "software".

Y llegamos con esto a la dificultad antes apuntada: la de la compatibilidad. En la práctica, los compiladores se encuentran vinculados al computador para el que han sido preparados mucho más de lo que se pretende y, en cualquier caso, mucho más de lo que fuera de desear. La falta de compatibilidad entre computadores de características similares es algo que impide a menudo sacar de ellos

(*) Un computador es capaz de efectuar las cuatro operaciones elementales y algunas operaciones lógicas. Mediante el concurso de la informática y del cálculo numérico, hay que reducir la resolución de cada problema a una sucesión de dichas operaciones.



Computador SIEMENS 4004

todo el partido posible. Con harta frecuencia, el "software" que se entrega con un computador no puede utilizarse, sin más, en otro computador semejante, incluso a veces cuando éste es de la misma marca. Por otra parte, la preparación de un programa es un trabajo caro. Valga como ejemplo el programa SAMIS (Structural Analysis Matrix Interpretative System), desarrollado por la NASA. En prepararlo se emplearon cinco años, y el coste total se sitúa entre tres y cinco millones de dólares. Como consecuencia del alto nivel de costes, se han constituido asociaciones de usuarios, nacionales o internacionales, que se enfrentan con problemas de naturaleza parecida y explotan en "pool" una biblioteca de programas (*). Todo esto está muy bien. Pero la cuestión es entonces que no todos utilizan el mismo sistema de computadores, y se plantea con ello de nuevo el problema de la compatibilidad. Las dificultades son, pues, serias y complejas, tanto en lo que concierne al "hardware" como al "software".

Monitores.—Conforme se indicó ya, el computador sólo entiende la información que se le proporciona codificada de acuerdo con el lenguaje de la máquina. Pero una vez preparado un programa en este lenguaje, y cargado en la máquina, el computador lo ejecuta, tratando los datos de entrada siguiendo dicho programa hasta llegar al resultado final, que aparece en la salida. En el sistema más simple de operar un computador, alguien toma un programa, lo carga, lo pone en marcha, recoge los resultados y lo descarga. Se pasa luego a otro programa y se efectúan con él las mismas operaciones. Y así sucesivamente. En esto consiste el sistema de *tratamiento secuencial* (batch processing): los programas de toda una serie de programas —en general, totalmente independientes, incluso desde el punto de vista de quienes sean los usuarios— se ejecutan uno tras otro, no empezando uno hasta que ha llegado al final la ejecución del anterior. Esta ordenación en la ejecución (que antes solía hacer el operador de la máquina) la lleva a cabo en los modernos computadores un programa, el llamado programa monitor o, simplemente, *monitor*.

Este programa sustituye al operador en el sentido de que toma un programa de una cierta cola, lo pone en marcha, recoge los resultados y los transmite al exterior. Hay que subrayar que en el tratamiento secuencial controlado por un monitor, en la memoria del computador se encuentran siempre a la vez dos programas, el programa monitor y el programa del usuario, pero que de los dos sólo uno está en ejecución en cada instante. El programa

(*) Por ejemplo, España es país miembro de la ENEA Computer Programme Library, que centraliza programas de cálculo de reactores nucleares para países de la OCDE.

monitor puede utilizar todos los recursos del computador y de su equipo auxiliar. En cambio, al programa del usuario sólo le está permitido acudir a dichos recursos a través del monitor (pasándole control, como se suele decir).

Lo que precede no debe llevar a creer que un programa monitor es siempre de características tan simples como el que acabamos de describir. La simplicidad de éste reside en que controla *un solo* computador en el que se encuentra *un solo* programa —aparte el propio monitor, claro está—. Pero esta simplicidad se pierde no bien el control se ejerce sobre más de un programa y más de un computador. Lo primero ocurre en los casos de *programación múltiple,* en la que se solapa la operación de dos o más programas presentes simultáneamente en la memoria del computador. El monitor debe entonces no sólo cargar y descargar los diferentes programas, sino también distribuir entre ellos los recursos del sistema de los que hay más de una demanda de utilización. Así, por ejemplo, cuando la unidad aritmética del computador cesa de trabajar para uno de los programas porque está en curso una operación de lectura, de impresión, etc., el monitor hace que dicha unidad pase a trabajar para otro programa. En cuanto a lo segundo —el control sobre más de un computador—, este caso se presenta cuando uno o más programas se encuentran en operación en más de un computador. Este tipo de tratamiento ha recibido el nombre de *tratamiento múltiple.*

Los computadores auxiliares que se utilizan en los sistemas de tratamiento múltiple pueden ser pequeños computadores empleados para la entrada y salida de información y otras tareas sencillas, pero pueden ser también computadores idénticos al computador principal. Lo importante en estos sistemas es la separación funcional, que permite obtener el máximo rendimiento, evitando, por ejemplo, pérdidas innecesarias de tiempo en el computador central.

Se suelen distinguir dos tipos de sistemas de tratamiento múltiple, el explícito y el implícito. En el tratamiento múltiple *explícito,* la unidad de tratamiento central, las unidades de almacenamiento y las unidades de control de entrada y salida son separables física, lógica y electrónicamente. En estos sistemas puede haber varias unidades centrales, varias unidades de almacenamiento completamente independientes, varias unidades de control de entrada y salida. A medida que aumentan las necesidades de cálculo, de almacenamiento o de entrada y salida, se añaden más y más unidades simplemente. Ejemplos de estos sistemas los ofrecen la Univac 1108, la serie GE-600 y la Philco-213. El carácter modular y el ser configuraciones muy fiables son las ventajas principales de los sistemas de tratamiento múltiple explícito. En la modalidad *implícita* hay una sola unidad central, pero varias unidades lógicas independientes *dentro* de la unidad central que operan en combinación —por ejemplo, varias unidades aritméticas independientes. Esta modalidad es la adoptada para la serie CDC-6000 y la IBM-360/92. Al parecer, el tratamiento múltiple implícito permite obtener más fácilmente altas velocidades, lo que trae consigo un coste más bajo por problema. En cuanto a los programas monitores que dirigen las operaciones en esos sistemas, no es difícil adivinar que alcanzan grados de complejidad muy lejos de lo común.

Tiempo real y tiempo compartido.—Pasemos ahora a dos conceptos que tienen más de un rasgo en común, el de operaciones en *tiempo real* y el de operaciones en *tiempo compartido.* Como se verá, el segundo implica el primero.

Recordemos que en el tratamiento secuencial los programas se van ejecutando sucesivamente, de manera que, por así decirlo, es el computador el elemento que marca la pauta. Para el usuario existe entonces un *tiempo aparente* que resulta de sumar los tiempos siguientes: un tiempo de cola de expedición del programa; un tiempo de envío (correo); un tiempo de cola en el centro de cálculo; un tiempo de ejecución del programa y salida de resultados; un tiempo de reenvío y, a veces, de nuevo un tiempo de cola local. Es evidente que, en muchos casos, esta situación es del todo inadmisible. Para soslayarla, se ideó la operación en *tiempo real.* El computador que opera en tiempo real no es, digamos, dueño de su tiempo, puesto que debe proporcionar la información que se le pide —sean resultados de cálculos, sean decisiones— dentro de un tiempo que viene impuesto por algo exterior, acaso una persona, acaso un dispositivo automático. Con este objetivo precisamente está asociado el nombre de tiempo real. Su origen hay que buscarlo en las técnicas de control de procesos y en las aplicaciones militares, en las que el tratamiento de datos debe efectuarse al mismo ritmo que un determinado proceso físico, en tiempos que son a veces del orden de segundos y aún menos. Esta limitación en el

tiempo obliga a una óptima programación, tanto que si se exceptúan ciertos tratamientos rutinarios, hay que renunciar muchas veces al empleo de lenguajes simbólicos de alto nivel para volver al lenguaje de la máquina, por lo menos en extensas partes del programa. Además, la optimización trae consigo en los casos complejos la necesidad de "cortar y confeccionar" el programa, por así decirlo, "a medida" del problema que interesa y del computador con que se cuenta. Estos obstáculos no son insalvables, pero el evitarlos supone tiempo y dinero. La figura 2 representa esquemáticamente un computador que trabaja en tiempo real para guiar y controlar un sistema físico.

Hoy, los computadores que operan en tiempo real se proyectan de manera que la información se trata no sólo teniendo en cuenta el factor tiempo, sino colocando las distintas tareas de acuerdo con un determinado orden de prioridad. Varias prioridades pueden ser solicitadas a la vez, pero sólo se atenderá el programa que tenga la prioridad superior. Una vez ejecutado éste, el monitor busca el programa con prioridad inferior siguiente y lo pone en marcha.

Las operaciones en tiempo real pueden venir dirigidas por un solo programa o por más de uno en régimen de programación múltiple. El sistema de prioridad es capaz entonces de interrumpir la ejecución de un programa debido a la llegada de otro de prioridad superior. La ejecución del programa que así queda al margen se reanudará cuando haya terminado la del programa (o de los programas) de mayor prioridad. Los tipos de entrada para un sistema de tiempo real son varios: teclado, tarjetas o cintas perforadas, cintas magnéticas o, incluso, la transferencia, a alta velocidad, de datos procedentes de otro computador. La información es aceptada, dirigida y tratada cualquiera que sea su origen, origen que puede encontrarse en el propio centro de cálculo o en cualquier otro centro, acaso muy alejado, unido con el primero por una línea de comunicación. Los resultados, en esta posible utilización a distancia, se dan a conocer casi inmediatamente al centro de origen. Finalmente, otra característica de estos sistemas de tratamiento en tiempo real es su capacidad de mantener un modelo operativo de toda una estructura dinámica, en el sentido de que permite prever la situación que se producirá al cabo de un tiempo que puede ser corto.

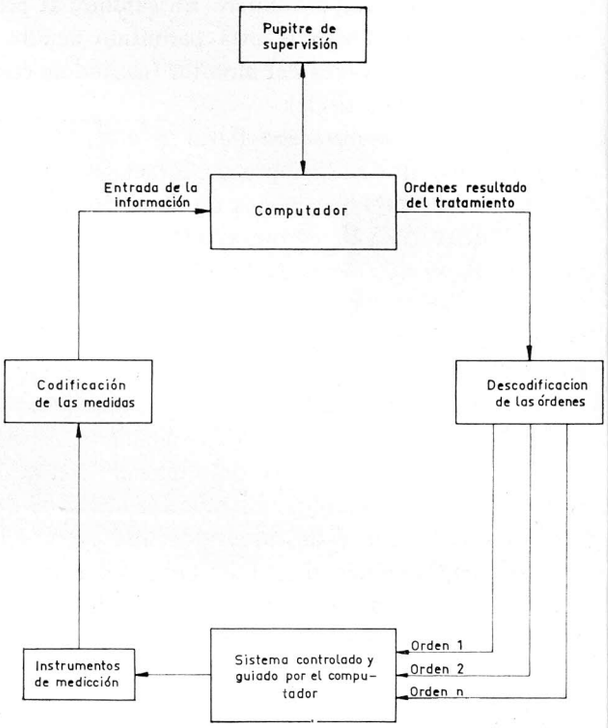
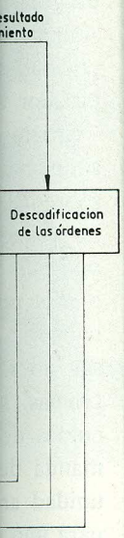


FIG. 2.—*Esquema de un computador que funciona en tiempo real.*

Con esto hemos llegado al punto en que la programación múltiple, el tratamiento en tiempo real y la utilización a distancia se unen para dar lugar a un sistema de tratamiento de la información altamente prometedor: los sistemas de *tiempo compartido*. Una configuración constituida por dos teletipos que permiten a dos usuarios independientes formular preguntas a un solo computador y obtener de él las respuestas correspondientes es la configuración más simple de un sistema que trabaja con programación múltiple, en tiempo real y a distancia, es el sistema más simple de tiempo compartido. La programación es múltiple, porque cada usuario tiene su programa en el sistema o lo dictan al mismo si es un programa nuevo. La operación es en tiempo real, porque en cualquier instante un usuario puede pedir entrada al sistema mediante su terminal de comunicación. El que sea a distancia, plantea acaso problemas de transmisión-recepción y aún económicos, pero no conceptuales. La figura 3 presenta un proyecto de esta naturaleza.

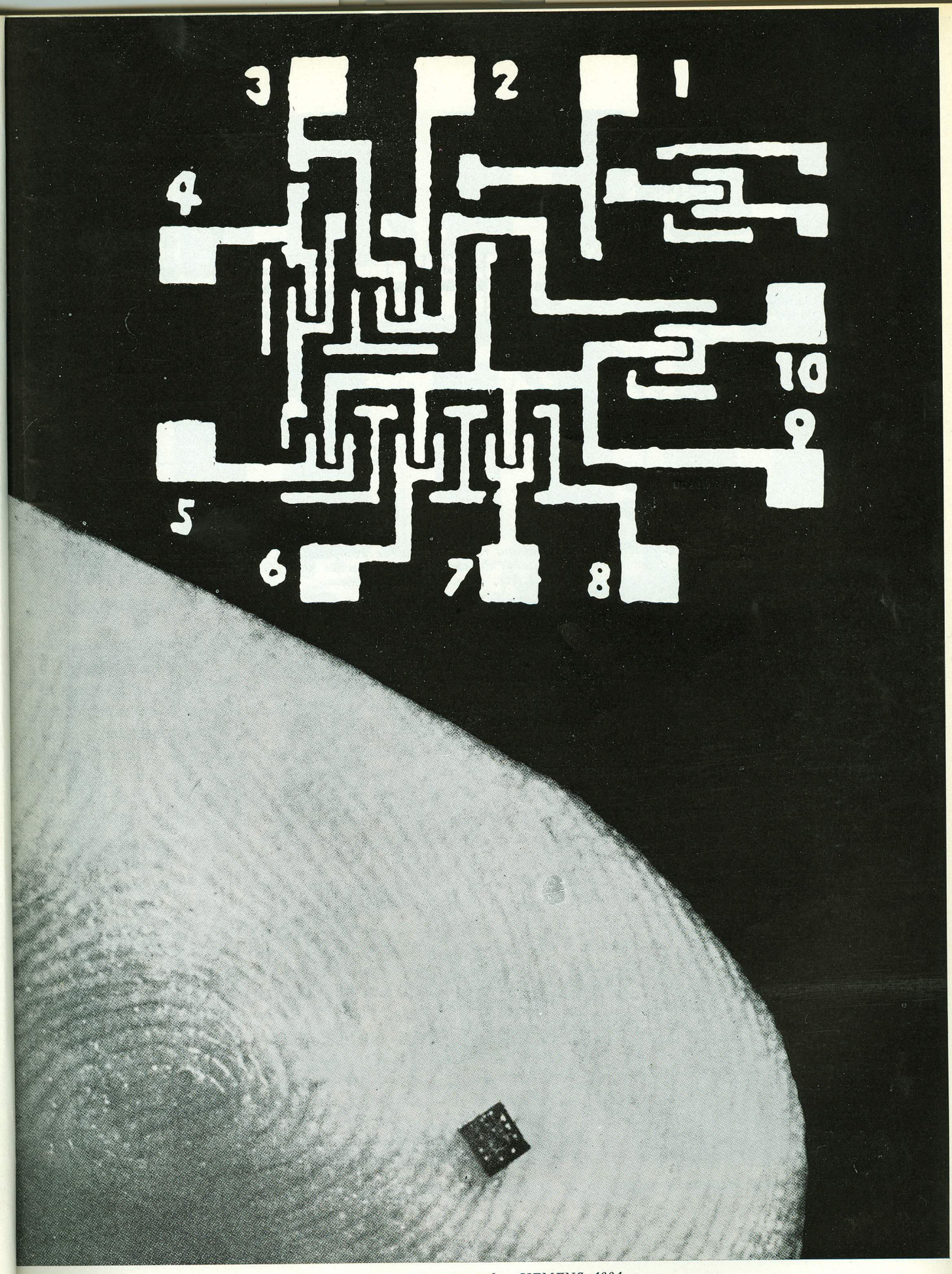
El primer modelo de sistema de tiempo compartido (llamado entonces Compatible Time-Sharing



na en tiem-

ue la pro-
empo real
dar lugar
ación alta-
o compar-
dos tele-
pendientes
or y obte-
es la con-
rabaja con
distancia,
partido. La
suario tie-
al mismo
en tiempo
ario puede
erminal de
ntea acaso
n económi-
resenta un

po compar-
me-Sharing



Microelementos del computador SIEMENS 4004

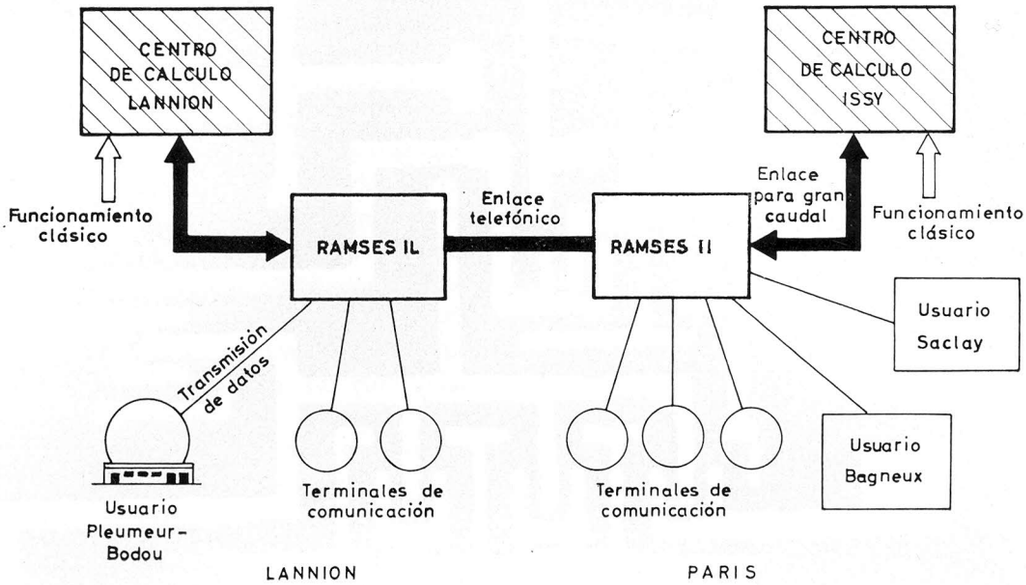
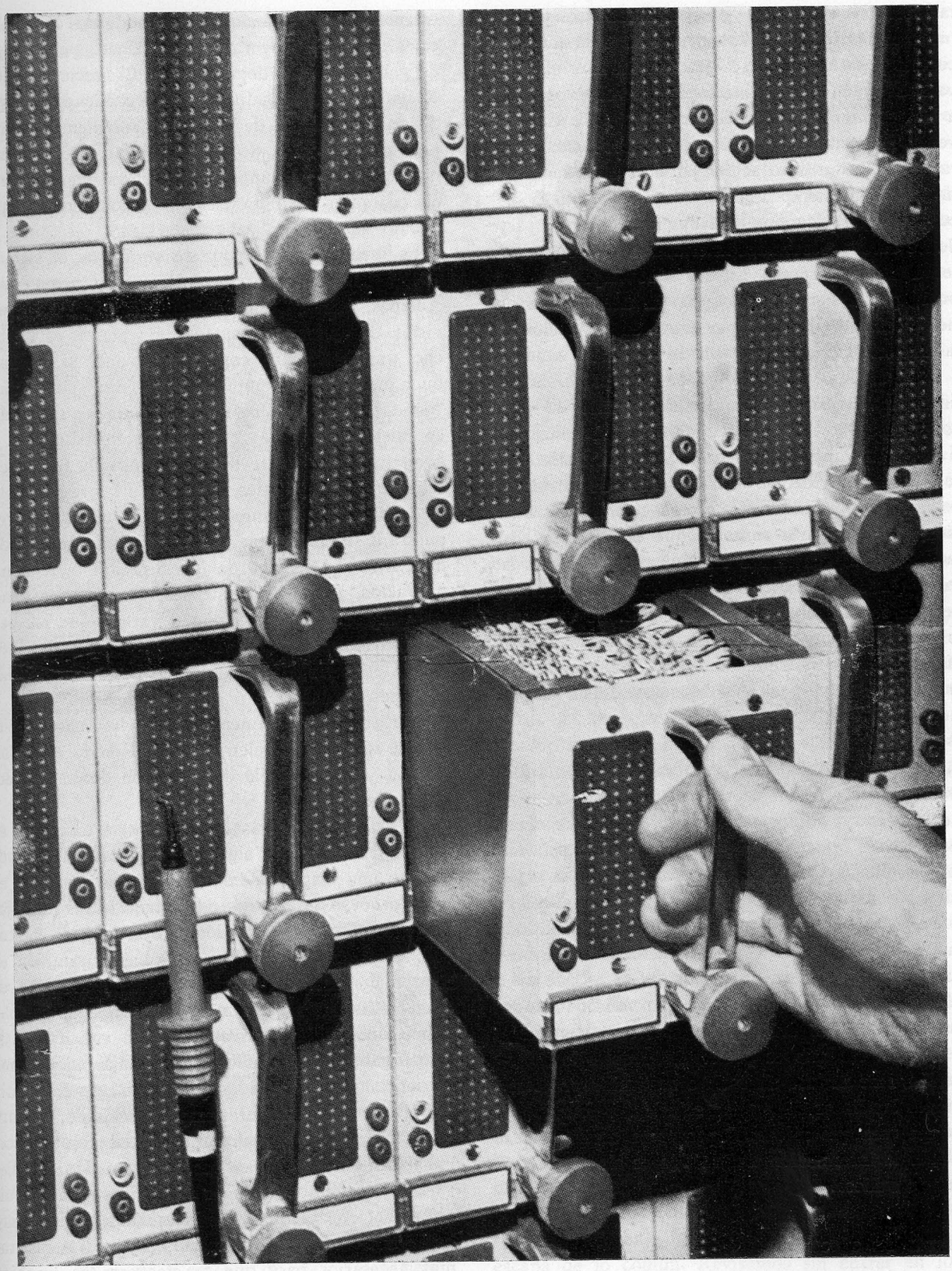


FIG. 3.—*Organización posible de una red integrada de computadores. Estos trabajan en tiempo real o por remesas, y estarán dotados de programación múltiple* (L'ECHO DES RECHERCHES, núm. 46, julio 1966).

System) se ensayó en noviembre de 1961 en el M. I. T. Computation Center. Desde entonces ha recorrido un buen trecho. En realidad, en estos sistemas no se comparte sólo el tiempo de cálculo, sino también los medios de almacenamiento, de tratamiento y de entrada y salida. Las cosas ocurren esencialmente como sigue. Varios usuarios disponen cada uno de una estación terminal que le permite comunicarse en ambos sentidos con el computador mediante sus órganos periféricos. El funcionamiento de éste se reparte en intervalos consecutivos de unos cuantos milisegundos. Durante cada intervalo, el computador ejecuta una parte del programa de cada usuario, y cuando ha llegado al último, prosigue con la ejecución del primero no terminado. Un programa monitor asigna los sucesivos intervalos de tiempo a cada terminal según un orden de prioridad. Dado que la tarea del monitor requiere un cierto tiempo, es claro que el tiempo total efectivo para completar la ejecución de un programa es mayor en el caso de tiempo compartido que en el caso de ejecución secuencial. Sin embargo, particularmente cuando se trata de problemas que suponen tiempos de cálculo inferiores a un minuto, el ahorro de tiempo que significa el evitar el envío del programa y la espera a que termine la ejecución de programas de duración mayor compensa con mucho aquel inconveniente.

Sea como fuere, el hecho es que, si las cosas se hacen bien, el resultado práctico es que todo ocurre como si la máquina trabajara exclusivamente para cada usuario. La "simultaneidad" en la utilización por todos ellos, el poder disponer, en un tiempo mínimo, de la respuesta a la cuestión formulada, la independencia con que se ejecutan los diferentes programas y el hecho de que, en principio, éstos pueden ser de cualquier índole, son las características más notables de los sistemas basados en el concepto de tiempo compartido. Junto a éstas hay una de naturaleza económica: al compartir el tiempo, los diferentes usuarios comparten también los costes. El uso del computador se convierte así en algo accesible a la economía de una pequeña empresa o de un pequeño centro científico que no podrían soportar la carga (ni tendría sentido que la soportaran, aunque pudieran, cuando sus necesidades de cálculo son reducidas) que representa el alquiler o la compra y mantenimiento de un gran computador.

La operación en tiempo compartido plantea, con todo, una dificultad que es necesario señalar. Los programas de los usuarios se encuentran en una



Disposición en "cajones" del computador RAMSES II

memoria secundaria de gran capacidad. El programa monitor los lleva sucesivamente a la memoria central y permite que se ejecuten durante el intervalo de tiempo estipulado, para devolverlos luego a una memoria de almacenamiento. Todo ese ir y venir, la posible interacción entre dos o más operaciones que utilizan el computador durante cortos intervalos de tiempo, puede conducir a que la ejecución de un programa destruya la totalidad o parte de los datos o resultados intermedios correspondientes a otro programa. Es del todo imprescindible, pues, que el sistema que opere en tiempo compartido cuente con dispositivos tanto de protección de la memoria como de prohibición de ciertas órdenes.

Otro aspecto conviene poner de relieve. Se ha dicho antes que, si bien desde el punto de vista conceptual ello no complica las cosas, la utilización a distancia plantea una cuestión económica. En efecto, en la comunicación usuario-centro de cálculo se utilizan por el momento líneas telefónicas. Pues bien, la experiencia muestra que hoy, en los Estados Unidos, las tarifas telefónicas constituyen un freno que se opone a la expansión de los sistemas de tiempo compartido en dicho país. Es este, por lo tanto, un punto que deben analizar las compañías telefónicas, porque un reajuste de tarifas podría significar para ellas la apertura de un amplio mercado.

Para terminar este punto, otra dificultad que se encuentra vinculada más con la comunicación a distancia que con el concepto de utilización en régimen de tiempo compartido. Siempre que un sistema central sirve a usuarios del exterior mediante líneas de comunicación, se plantea el problema de la seguridad y conservación del carácter confidencial. Cierto es que la información, sea personal o clasificada, puede protegerse una vez se encuentra en el sistema computador. Pero no menos cierto es que esta información es vulnerable a la intromisión cuando pasa del terminal del usuario al sistema central y al regreso. No sólo es posible interceptar la información, sino incluso alterarla o sustituirla por otra. Blindar las líneas ofrece una solución, pero resultaría tan cara que sólo cabe pensar en acudir a ella cuando la información transmitida es altamente secreta o valiosa.

Centro de cálculo

Con objeto de fijar ideas, veamos cómo puede estructurarse y funcionar un moderno centro de cálculo para uso de varios organismos, por ejemplo de gobierno y sus dependencias. El crecimiento del mismo debe ser gradual, si bien partiendo siempre de un "hardware" de base suficientemente potente para poder abordar desde el principio los problemas mínimos que se plantean, problemas que requieren en cualquier caso un cierto "tamaño crítico" por debajo del cual no cabe tratarlos.

Es esencial, por lo que se verá, que el sistema sea capaz de trabajar de ordinario en *tiempo real*. Además, debe ser modularmente ampliable en previsión de futuras necesidades. En efecto, es un hecho universalmente comprobado que, si se hace buen uso de un computador, en muy pocos años "queda pequeño". Una red de terminales instalados en puestos clave de gobierno y conectados con el computador mediante líneas telegráficas, telefónicas o líneas independientes, permitirá a los responsables de la dirección comunicar con él y obtener la respuesta a sus preguntas casi instantáneamente. Además, diversos centros de investigación o de administración, centros industriales, etc., pueden tener sus propios terminales (uno o varios) que les permitan comunicar también con el computador para que éste les resuelva sus respectivos problemas. Los terminales serán más o menos complejos, según el objeto a que se destinen. Uno de los más simples consta sólo de un teletipo para el envío de información y una pantalla de televisión donde se hace visible la respuesta.

El sistema, en estas condiciones, trabajará en tiempo real cuando alguien de prioridad elevada solicite una respuesta inmediata de la máquina, en cuyo caso se interrumpe el trabajo o los trabajos en curso, si son de prioridad inferior, y se efectúa el que se acaba de solicitar. Trabajará también en tiempo compartido cuando diversos usuarios de igual prioridad requieran la resolución de problemas y, por último, en ausencia de solicitudes de tipo urgente podrá dedicarse a trabajar en régimen secuencial resolviendo los problemas, generalmente los que implican mayor tiempo de cálculo, acumulados durante el trabajo urgente del computador.

La idea como se ve es bastante sencilla, pero llevarla a la práctica no lo es tanto. Hay una dificultad que, ciertamente, no es insuperable, si bien hay que contar con ella: es preciso elaborar los programas necesarios para que se efectúen los trabajos requeridos, y esta es una tarea que requiere tiempo

y cerebros humanos. No cabe aquí la improvisación ni acudir a máquinas, y esto hay que tenerlo bien presente.

La experiencia adquirida con el uso permitirá ir mejorando gradualmente el sistema, por ejemplo aumentando el número de terminales para comunicar la máquina con nuevos emplazamientos donde pueda ser útil, blindando alguna de las líneas de comunicación independientes para proteger la información que circule por ella, ampliando el "hardware" según se vaya haciendo necesario, etc.

La utilidad de un centro así concebido es patente. Además de disponer de un poderoso medio de cálculo, necesario para la ciencia y la técnica, un sistema de estas características puede hacer posible coordinar los diversos aspectos de la Administración. En este último caso, el mismo fichero almacenado en cintas o, mejor aún, en tambores magnéticos, puede contener todos los datos que requieren los diversos departamentos, cada uno de los cuales tendrá acceso directo a él. Además, el fichero podrá mantenerse al día de acuerdo con las incidencias que ocurran en el departamento. Como consecuencia, la alta dirección puede disponer, en el momento que lo desee, de una visión global de la situación conjunta y de los problemas que ésta plantea a la Administración. No obstante, hay que insistir en ello, estos resultados no se consiguen sólo con máquinas, sino que es preciso el concurso del hombre.

Los computadores en informática y automatización

El desarrollo tecnológico siempre trae consigo el suprimir en mayor o menor grado una limitación que antes existía en lo que el individuo o la colectividad puede hacer. Desde este punto de vista. los computadores son capaces de aumentar extraordinariamente nuestras posibilidades —lo que vale tanto como saltar limitaciones— en el tratamiento de la información y en la puesta a punto de procesos prácticamente inaplicables hasta ahora debido a su enorme complejidad. Además, su aptitud para enfrentarse con lo intrincado podrá acaso llegar a ser el canal por el que la mente del hombre consiga reducir la complejidad de las interacciones de todo tipo que, de hecho, constituyen la vida en común. La sociedad actual, en muchos de sus niveles, tiene que afrontar el problema de la sobrecarga de información. Existe una incapacidad práctica de manejar de modo efectivo y con medios tradicionales la creciente marea de información que sería necesario tratar para extraer de ella todo su contenido. Pero precisamente en aquellas situaciones en las que grandes cantidades de información requieren un tratamiento rápido o un tratamiento complicado, o ambas cosas a la vez, los computadores de finalidad específica o general pueden ser la solución. El gran potencial que ofrecen desde este punto de vista constituye el factor básico de la ayuda que pueden prestar en las tareas de comprender, de clasificar, de predecir... En el comportamiento competitivo, su importancia es fundamental con vistas a tomar decisiones.

Sin embargo, no hay que sacar las cosas de quicio. El computador, como cualquier herramienta, es una ayuda para el hombre, pero no lo sustituye del todo más que en aquello que hace del hombre una herramienta para el hombre. Tómese como ejemplo la intervención del computador en la gestión industrial. Es cierto que la respuesta del computador a una pregunta que se le formule puede ser de índole tal que deje perplejo a quien la formuló y le haga pensar en toda una serie de aspectos —que, a su vez, se traducen en nuevas preguntas— en las que no hubiese pensado de no conocer aquélla. Vistas así las cosas, no hay duda alguna: el computador facilita al que dirige la exploración rápida de un número grande de posibles alternativas, le hace ver cuáles pueden ser las consecuencias que se siguen de orientar la gestión en determinado sentido. Pero nada más, aunque ello sea mucho. Le toca al que dirige sopesar toda esa información, le toca al que dirige no sólo el formular la pregunta primera, sino tomar la decisión última. Y en esto nada puede sustituirlo.

Por lo demás, no hay que discutirle al computador ni el impacto que ha causado en el mundo de hoy ni la transcendencia de su uso en el de mañana. Sus aplicaciones en el control de inventarios, en el de cuentas y gestión bancarias, en las centrales telefónicas, reserva de plazas en compañías aéreas, control automático de semáforos, persecución de objetivos en vuelo y control de tiro son muestras palpables de lo que permiten los sistemas que operan en tiempo real. La importancia de los grandes sistemas dedicados a la defensa es también algo que escapa de lo común. Revisemos sin entrar en los pormenores, pero sí de manera más concreta, algu-

nas de esas áreas de aplicabilidad de los computadores.

Ciencia y técnica.—Una de las primeras aplicaciones de los computadores, y durante bastante tiempo la más importante de todas, fue la resolución de problemas científicos y técnicos, campo en que han desempeñado un papel importante y han contribuido en gran manera al creciente desarrollo. Lo mismo aquí que en muchas otras actividades, la relación entre el desarrollo de la técnica y la evolución de los computadores es muy íntima. El desarrollo científico y técnico lleva consigo el planteamiento de problemas cada vez más complejos, para cuya solución son necesarios computadores más potentes (más rápidos y de mayor capacidad). Es obvio el estímulo que ello determina en las empresas dedicadas al diseño y construcción de tales máquinas. Una vez éstas en el mercado, contribuyen a un mayor desarrollo científico y técnico, lo que plantea problemas nuevos, etc. Es la realimentación de que ya se habló.

El mayor volumen de trabajo de tipo científico y técnico con los computadores existentes es, aún hoy día, de tipo secuencial. Sin embargo, los sistemas de tiempo compartido son muy prometedores en este tipo de tareas, porque ponen a disposición de muchos centros de investigación oficinas de proyectos, etc., la posibilidad de disponer de un servicio de cálculo que puede utilizarse cuando se precise, y prácticamente como si cada uno fuera el único usuario del mismo. Naturalmente, este servicio resultará económico siempre que el volumen de cálculo a efectuar no sea excesivamente elevado, lo cual, por otra parte, podría justificar la posesión de un computador propio.

En cuanto a la automatización, podrían señalarse numerosos ejemplos de aplicación de los computadores digitales a la industria. He aquí algunos.

El empleo de las máquinas-herramienta con mando numérico ofrece uno muy interesante. En éstas, el ajuste manual de los diferentes movimientos de la herramienta, que permite trabajar la pieza de acuerdo con las especificaciones de la oficina de estudios, se ha reducido al mínimo. Un aparato electrónico —por ejemplo, el llamado interpolador— transmite a la máquina-herramienta toda la información necesaria —trayectoria de la herramienta, velocidad de avance y de rotación del portaherramientas, etc. Esta información se proporciona al interpolador mediante tarjetas o cintas perforadas, y a veces mediante cinta magnética. Ahora bien, la preparación de la información en esta forma, partiendo de las especificaciones dadas, es una labor larga, pesada, delicada y, sobre todo, expuesta a errores. Por todo ello, la preparación de, digamos, la cinta se lleva a cabo por medio de un computador. Con vistas a esto, se han ideado lenguajes que permiten describir fácilmente la geometría de la pieza y de las herramientas que es preciso utilizar. El computador, con esta información y el programa adecuado, efectúa los cálculos necesarios y prepara la cinta perforada.

Los computadores representan un importante papel también en los altos hornos, en los que utilizan como fuente de información los datos relativos a la carga de los mismos. Estos datos los clasifica el computador por días, equipo de trabajo y carga, a la vez que recoge todos los demás datos relativos al alto horno y a los recuperadores de calor. Todo ello le permite regular automáticamente el funcionamiento del sistema mediante un modelo matemático que, en forma de programa, se encuentra en su memoria. De una aplicación análoga son susceptibles los computadores en las acerías y en las plantas de laminado. En estas últimas, un computador —el de explotación— supervisa la circulación de los lingotes, recoge e interpreta las medidas obtenidas automáticamente y regula el paso al tren de laminación. Otro computador —el de disposición— establece, por su parte, el plan del proceso tomado en conjunto.

Otro ejemplo: Un sistema dúplex de computadores digitales se encuentra instalado en la central nuclear de Chinon para detectar el escape de productos de fisión a través de poros en las vainas de los elementos combustibles. Estos gases, al circular con el refrigerante, podrían contaminar permanentemente el reactor, por lo que es necesario un control constante del sistema. No hay que perder de vista que el núcleo del reactor (el EDF-3) contiene 1148 cartuchos (140 toneladas de uranio natural) dispuestos en otros tantos canales. Uno de los dos computadores selecciona una muestra de gas refrigerante procedente de uno de cuatro canales adyacentes, registra los datos de dos mediciones de radiactividad de la muestra y calcula la variación de actividad debida a productos de fisión gaseosos. Los canales se agrupan para inspección en 287 sistemas de cuatro canales cada uno y cada sistema se controla durante un minuto. Además, a este computa-

dor se confiarán funciones relativamente más complejas de cálculo, como optimización general, mejora de la precisión de las medidas, etc. El otro computador se ha instalado para aumentar el grado de fiabilidad del sistema. Ambos se encuentran conectados con los dispositivos de entrada, pero sólo uno se encuentra en operación. Si éste fallara, el control pasa automáticamente al segundo computador.

Banca y finanzas.—Uno de los campos que en la actualidad más se beneficia del empleo de los computadores es el de la banca, hasta tal punto que el hacer frente al enorme crecimiento de las operaciones bancarias en volumen y complejidad ha sido y es sólo posible gracias a su utilización. Como en otros campos, el computador ha permitido aquí simplificar los métodos de trabajo y, en consecuencia, abordar operaciones más complejas, que sin el auxilio de los computadores serían de realización impracticable. Pero no es esto sólo: los nuevos recursos que los modernos computadores ofrecen, abren un amplio panorama de posibilidades que está comenzando ahora a ser explorado.

La forma, que ya puede considerarse tradicional, en que la mayoría de las instituciones bancarias utilizan el computador es secuencial y puede resumirse como sigue. Los datos referentes a las operaciones realizadas por cada sucursal, ventanilla o servicio son preparados, clasificados y ordenados, y se envían posteriormente al centro de cálculo, situado a veces a gran distancia del centro que los envía. Una vez en el centro de cálculo, los datos se suministran al computador, que realiza las operaciones contables necesarias y a continuación se envían los resultados al punto de origen. La simplificación conseguida con esta forma de empleo de los computadores ha permitido compensar el gran incremento de trabajo en cada una de las diferentes sucursales, pero ha llevado consigo la necesidad de la centralización contable, ya que era prácticamente imposible dotar a cada una de su propio computador debido al elevado coste de éste. Ahora bien, la centralización tiene sus inconvenientes, todos ellos debidos a la separación necesaria, en espacio y tiempo, del origen de los datos y del centro de cálculo. Al operar de manera secuencial, transcurren horas y aún días entre el momento en que se realizan las operaciones y aquel en que se reciben los resultados que proporciona el computador, esto sin contar los errores de transmisión que inevitablemente se producen y hacen que el ciclo deba repetirse de nuevo. Todo ello obliga a veces a duplicar parte del trabajo para mayor seguridad y a conservar ficheros de cuentas en las sucursales.

Los modernos computadores ofrecen una solución ideal a estos problemas, y abren nuevas perspectivas en este como en otros campos. Esta solución está basada en la sustitución de los computadores que operan en forma secuencial por la llamada instalación en línea ("on line"), que son, en realidad, sistemas de tiempo compartido capaces de operar también en tiempo real. La única diferencia con los casos antes considerados es que aquí comparten el uso del computador sólo los centros de una misma empresa. Cada sucursal, ventanilla o servicio tiene un terminal unido telegráfica o telefónicamente con el computador, en cuya memoria secundaria se encuentra archivado un único fichero central, que recoge todas las actividades de la entidad. Cuando una operación ha de realizarse en un punto determinado, el empleado, utilizando el correspondiente terminal, dialoga con el computador y obtiene casi instantáneamente la respuesta a su demanda, respuesta de la que depende la posibilidad de efectuar la operación. En caso afirmativo, y una vez realizada, el empleado lo comunica al computador y éste efectúa las operaciones contables necesarias para ajustar los datos del fichero a las condiciones que resultan de la transacción.

No hace falta subrayar las ventajas que esta forma de proceder supone para las empresas bancarias. Claro está que el procedimiento no es en la práctica tan simple como parece, sino que se presentarán problemas. Por ejemplo, es claro que habrá que contar con un duplicado del fichero central, archivado en otra memoria secundaria (cintas magnéticas o discos), que será necesario poner al día al fin o al principio de cada jornada de trabajo. También habrá que conservar las respuestas del computador a las operaciones realizadas, para poder reproducir en caso de necesidad el conjunto del trabajo diario y actualizar el fichero del día anterior.

Pero aún hay más: a las ventajas que se desprenden de lo expuesto hay que añadir la eficaz colaboración que el empleo del computador proporciona a la dirección del banco al suministrar, en el acto y mediante la simple manipulación del correspondiente terminal, los datos que necesite referentes a la marcha de la empresa (por ejemplo, disponibilidad de fondos en un determinado momento). El computador trabajará entonces en tiempo real,

suspenderá las restantes operaciones y se dedicará a la obtención y transmisión de los datos solicitados, reanudando a continuación el trabajo interrumpido. No se crea que esta forma de operar perturbará el trabajo normal de la empresa. La velocidad de tratamiento de la información en los modernos computadores de una parte, y la sencillez de los cálculos a efectuar de otra, hacen que sea prácticamente inapreciable la demora impuesta con ello a los restantes usuarios.

Gestión de empresas.—Esta es una de las más recientes aplicaciones, aún en embrión, de los modernos computadores, y precisamente de aquellos que trabajan en tiempo real.

Es evidente que el conocimiento, en el instante preciso, de la tendencia del mercado en relación con un determinado producto o conjunto de productos, es un dato de inestimable valor para el gerente, el cual ha de tomar decisiones en relación con la política a seguir por su empresa en un futuro más o menos inmediato. Pero lo más importante de este hecho es que el gerente podrá obtener aquel dato y otros similares por medio de un computador de modo prácticamente instantáneo y de una manera simple, como, por ejemplo, marcando en un dial telefónico.

El problema más importante aquí es el acopio previo de la información necesaria, su almacenamiento en la memoria del computador y la preparación de los programas de cálculo para obtener las respuestas a las diferentes preguntas que pueden ser formuladas. Este es, como en muchos otros casos, un problema de informática. La posibilidad existe; sólo falta que el cerebro del hombre estudie la forma de dar solución a los problemas que se puedan plantear, discrimine cuál es la información base más conveniente y elabore los correspondientes programas para que, posteriormente, el computador realice su tarea.

Con todo, no por esto la dirección de las empresas será completamente automática. Esta dirección continuará incluso siendo más un arte que una ciencia. El gerente utilizará las respuestas del computador únicamente como elemento informativo con vistas a las decisiones a tomar; pero, en primer lugar, debe saber qué preguntas ha de formular, y, en definitiva, será su propio criterio el que ponderará la importancia de las respuestas, ponderación en la que influirá esencialmente el propio conocimiento del negocio y de la circunstancia económica. Como se dijo ya, el computador le liberará de gran parte del trabajo de rutina, e incluso podrá mostrarle aspectos del problema en que no había pensado previamente.

Gobierno.—Otra aplicación importante de los sistemas de información es la ayuda a los gobiernos en la adopción de decisiones políticas. Naturalmente, en este aspecto, como en el ejemplo anterior, es el juicio personal de los gobernantes lo que ha de llevar a adoptar las diferentes decisiones. Pero la utilización de un computador puede señalar y analizar una gran variedad de alternativas cuyo estudio a fondo sería de otro modo totalmente imposible. Así, el análisis de los riesgos permite determinar el riesgo asociado con una determinada estrategia.

Modelos econométricos elaborados para toda la economía nacional permiten al gobernante conocer, a través del computador, el impacto que un conjunto de medidas puede producir en la economía del país. Por otra parte, es evidente el valor incalculable que tiene para un gobernante —al igual que en la gestión de empresas— la posibilidad de obtener de manera simple (oprimir un botón o marcar en un dial telefónico), y prácticamente en el acto, datos elaborados procedentes de la información almacenada en los computadores, como, por ejemplo, cifras de desempleo en los diversos sectores, reservas de determinados productos industriales, etc.

Hay muchos aspectos en el gobierno de un país que pueden beneficiarse considerablemente de la ayuda prestada por la informática. Pero es preciso no perder de vista la grave dificultad que se señaló ya y que puede surgir al utilizar los computadores en la forma indicada: la que plantea el mantener secreta la información. El peligro radica en los cables coaxiales que unen el usuario con el centro de cálculo, puesto que con un sistema electrónico barato es posible detectar toda la información solicitada y recibida del computador, y lo que es peor, incluso se puede cambiar la información de modo que el usuario reciba resultados falsos. Por lo que se dijo, sabemos que el remedio existe, y también que es caro.

Defensa.—La aplicación mayor de los grandes computadores corresponde al proyecto de las armas nucleares, al programa espacial y a los sistemas de alerta y defensa.

El Strategic Air Command (SAC) dispone de un Centro de Cálculo para la detección de misiles. Si

de gran
lrá mos-
bía pen-

e los sis-
gobiernos
uralmen-
terior, es
ue ha de
Pero la
r y ana-
uyo estu-
e imposi-
determi-
da estra-

toda la
conocer,
un con-
economía
lor incal-
igual que
de obte-
o marcar
n el acto,
nación al-
ejemplo,
es, reser-
es, etc.
e un país
nte de la
es preciso
se señaló
putadores
mantener
en los ca-
centro de
rónico ba-
ión solici-
e es peor,
de modo
Por lo que
y también

s grandes
las armas
istemas de

one de un
misiles. Si

un misil en trayectoria balística fuese lanzado contra los Estados Unidos, los sistemas de radar y los restantes sistemas de detección situados en la periferia del país agresor comunicarían al Centro de Cálculo del SAC las fotografías y diferentes posiciones y velocidades del misil. Con estos datos como base, en el Centro se determina entonces la trayectoria, y al cabo de unos dos minutos, el General en Jefe del SAC dispone de la fotografía en color del misil proyectada en una pantalla de 1,20 × 1,20 metros, y conoce los lugares y tiempos de la reentrada y del impacto. Pero, al igual que en situaciones análogas ya descritas, ningún sistema de computadores puede indicar al mando de manera unívoca el camino a seguir.

Con el desarrollo del nuevo sistema de bombardeo nuclear proyectado por la URSS y basado en el empleo de misiles en trayectoria orbital balística fraccionada (FOBS), los puntos y tiempos de reentrada e impacto sólo podrían determinarse a partir del momento en que el misil, ya en territorio propio, pone en funcionamiento los cohetes de frenado para iniciar la reentrada. El tiempo de que se dispone es entonces tan poco, que será necesario desarrollar nuevos computadores gigantes, los cuales, claro está, serán explotados luego comercialmente.

Educación.—Hay dos aspectos fundamentales a considerar en el empleo de los computadores en relación con la educación. Uno de ellos, acaso el más importante, es el adiestramiento de los estudiantes en el empleo de los computadores, y el otro, el uso de los computadores como colaboradores en la propia enseñanza.

Con el adiestramiento de los estudiantes en el empleo de los computadores se cumplen dos objetivos fundamentales. En primer lugar, se familiarizan con dicho empleo y, en consecuencia, se prepara al estudiante para el futuro ejercicio de su profesión. Es una opinión muy extendida que, en la próxima generación y para muchas actividades, saber utilizar un computador será tan importante como saber leer y escribir. En segundo lugar, se proporciona al estudiante un medio auxiliar de cálculo muy poderoso que le permite resolver como ejercicio de rutina problemas que en el pasado sólo verdaderos expertos podían abordar.

Fundamentalmente, es la técnica de tiempo compartido la que hace posible esta utilización de los computadores. El manejo es muy sencillo y fácil de aprender, debido a la existencia de lenguajes (por ejemplo, el BASIC) muy simplificados para comunicarse con el computador. Todo lo que ha de hacer el estudiante es sentarse frente a un terminal del sistema, generalmente un teletipo, y marcar una palabra convencional de llamada; el computador contesta preguntando quién llama (cada usuario autorizado tiene un número clave), después pregunta el lenguaje que se va a emplear, si se trata de emplear un programa antiguo o confeccionar uno nuevo, etc. Cuando el usuario ha terminado de suministrar los datos necesarios para la resolución de su o sus problemas, el computador realiza los cálculos y suministra las respuestas solicitadas. Cuando todo ha terminado, el usuario marca otra palabra convencional y el computador "abandona" el diálogo con este terminal hasta una nueva llamada.

No es mucho lo que se sabe por ahora acerca de hasta qué punto puede utilizarse un computador para la enseñanza. La National Science Foundation destinó 13 millones de dólares en el año fiscal 1968 a la investigación de este problema. En esencia, se trata de guiar al estudiante en sus estudios mediante un computador. Un rasgo interesante de este método —tanto para el Gobierno como para la industria— es que hace posible que cada estudiante aprenda de acuerdo con su propia rapidez de comprensión. La enseñanza cobra así un carácter individual que la libera de la rigidez de una clase colectiva, no digamos ya de la de una clase colectiva excesivamente numerosa.

Otras aplicaciones.—Como ejemplos notables de otras aplicaciones citaremos el pago y control del Impuesto Sobre la Renta, y la confección de menús en fábricas, hoteles, cuarteles, etc.

En los Estados Unidos, la declaración del impuesto sobre la renta es un proceso laborioso por la gran cantidad de posibilidades que entran en juego —profesión, familia, etc.—. El empleo de un computador permite resolver el problema de optimizar el procedimiento a seguir de modo que la cantidad a pagar sea mínima. Por otro lado, el Gobierno mantiene al día un fichero de contribuyentes archivado en cintas magnéticas, en donde va incluyendo los ingresos y gastos superiores a un cierto límite. lo que permite relacionar y desglosar lo que, siendo gasto para uno, es ingreso para otro. Con ello no solamente se pueden detectar los fraudes, sino también las equivocaciones en contra del contribuyente. De este modo, en el año 1967, la Internal Revenue Service devolvió a los contribu-

yentes 94 millones de dólares que habían pagado en exceso, pero evidentemente recuperó varias veces esta cantidad al detectar fraudes cometidos.

Respecto a la confección de menús, una base aérea norteamericana encargó a un conocido "chef" la confección de unos 100 menús diferentes, y en principio económicos. El coste de cada menú viene dado en función de la cuantía de cada producto y de su precio unitario. Cada semana, el encargado de cocina de la base toma nota en el mercado central de los precios unitarios de los diferentes productos. El computador optimiza con relación al mínimo coste, dando los 14 menús de coste mínimo para la semana. Con ello se consiguió un ahorro medio del 30 por ciento.

En menor escala, este sistema se aplicó en la Clínica Sara Mayo, Estados Unidos, que cuenta con 112 camas. Los menús confeccionados por el computador están concebidos exclusivamente para este hospital y en ellos se tiene en cuenta los hábitos gastronómicos de los pacientes. Como es natural, ha de proporcionarse a cada paciente una dieta que contenga la cantidad de calorías necesarias, con un coste mínimo. El programa que hace que el computador realice los cálculos contiene los precios de los diversos alimentos (480 ingredientes en total), precios que se ponen al día periódicamente. La técnica matemática empleada en el cálculo es la llamada programación lineal. En la confección del menú se tienen también en cuenta detalles en apariencia accesorios, pero en realidad importantes, como son, por ejemplo, el aspecto de los diversos platos, la densidad o solidez de los mismos, etc. Los resultados obtenidos han producido un ahorro del 24 por ciento en el coste de la alimentación y una mejora en la calidad de este servicio. Por otra parte, ha liberado al especialista dietético de un trabajo de rutina que le hacía invertir de 8 a 10 días en la planificación de los menús necesarios para cada mes.

Formación de especialistas

Conforme con lo anunciado al principio, cuatro palabras acerca del problema que plantea la formación de especialistas. El análisis y la concepción de sistemas computadores para realizar determinadas funciones es obra de especialistas. Por otra parte, al mismo tiempo que los matemáticos no muestran un excesivo entusiasmo por trabajar en problemas que les plantea el mundo no matemático, el número

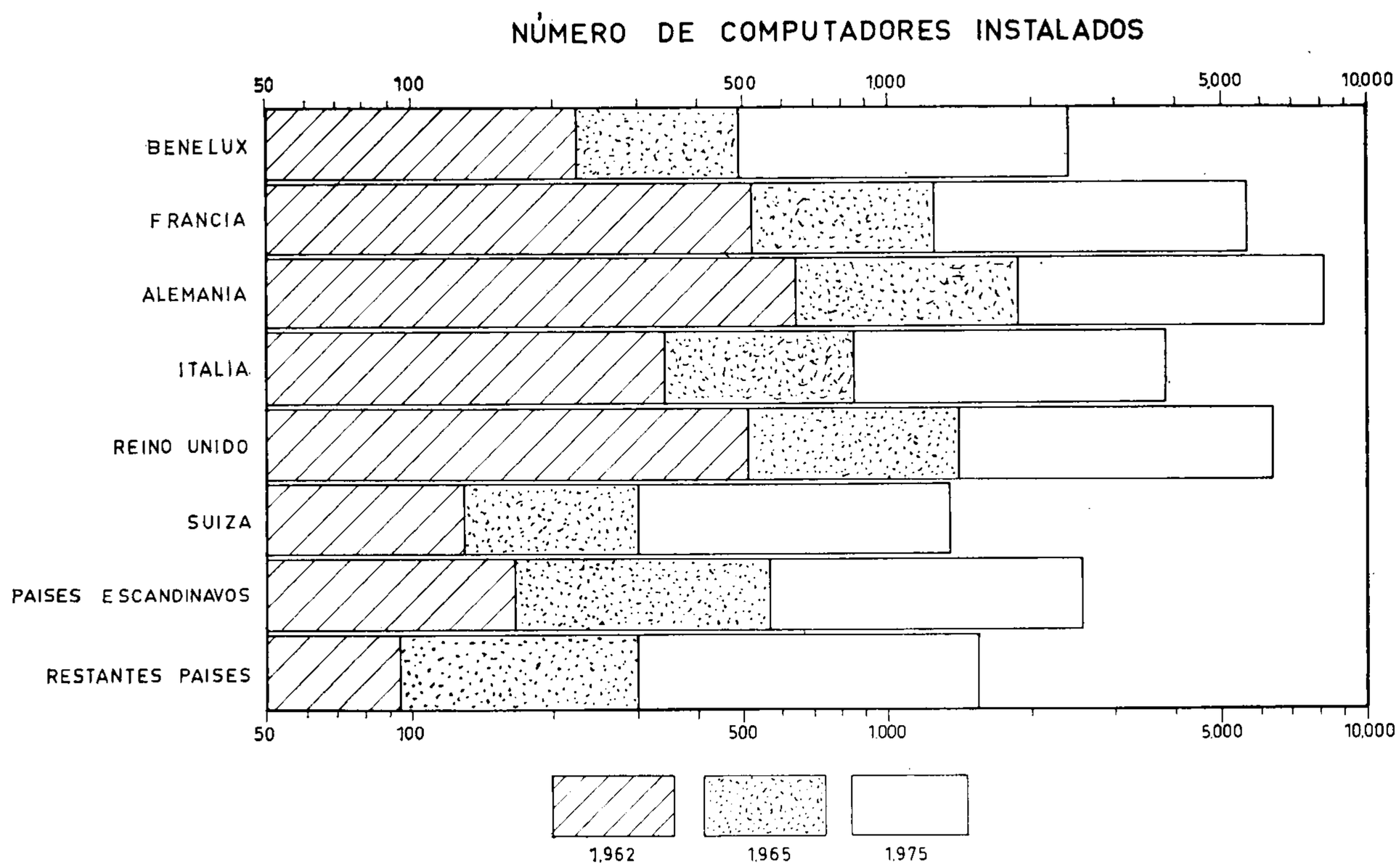


Fig. 4

de campos que en este último necesitan modelos y técnicas matemáticas para resolver los problemas que se les plantean aumenta rápidamente. Sólo existen dos posibilidades para salvar esta crisis: o conseguir aumentar el número de matemáticos interesados en tales problemas o que aquellos a quienes su realidad se los plantea adquieran los conocimientos matemáticos necesarios para resolverlos por sí mismos o, por lo menos, para plantearlos correctamente y de manera clara en términos matemáticos. Esto, claro está, vale para los especialistas de más alto nivel.

Por otra parte, la operación de un sistema basado en un computador es más flexible, pero ello precisamente entraña una mayor probabilidad de operación incorrecta. Por consecuencia, para evitar esta posible incorrección, quienes tienen que utilizar la máquina deben alcanzar un cierto grado de especialización. Pero es claro que muchos no estarán dispuestos a invertir tiempo y esfuerzo en adquirirlo, a menos que encuentren dónde hacerlo, por un lado, y les sean patentes las ventajas que ello les reportará, por otro. En la actualidad, en efecto, los medios de formación profesional en este área son insuficientes. Aun en el supuesto de que la Universidad dedicara más atención a este aspecto del conocimiento, el resultado sería formar un pequeño número de especialistas superiores, pero quedaría sin resolver el de la formación de los técnicos de grado medio e inferior, del todo indispensables. La tendencia general es la de disminuir el crecimiento del número de programadores, para aumentar el de especialistas en organización, en análisis y en ideación de sistemas de explotación. Pero sea en un área o en otra, no hay que olvidar que el número de computadores en explotación en Europa crece tan rápidamente (véase la figura 4) que, en un futuro nada remoto, la escasez de técnicos, tanto programadores como analistas de nivel medio, puede constituir un obstáculo que haga prácticamente imposible la adopción de métodos y técnicas nuevas que en determinados países han dejado de serlo ya. La formación de personal será, sin duda alguna, el problema más importante que se planteará en Europa en este campo.