

Cibernética y ciencias de la computación

I. INTRODUCCIÓN

La cibernética surge como disciplina científica independiente cuando el desarrollo de la ciencia y la técnica creó las condiciones indispensables para examinar bajo un nuevo punto de vista algunos de los conceptos tradicionales de las matemáticas y de la física y para iniciar una síntesis de estos conceptos con aquellos derivados de la investigación en otras diversas disciplinas.

Surge además cuando las computadoras electrónicas hacen posible: dar un contenido concreto al acelerado desarrollo de los métodos de las matemáticas y de la física; aprovechar y enriquecer estos métodos mediante su aplicación en las ciencias sociales y humanas; hacer posible la necesaria racionalización y correcta dirección no sólo de procesos productivos materiales sino también intelectuales.

Surge, por último, cuando las anteriores condiciones y el creciente dominio sobre la utilización de las computadoras electrónicas dan cuerpo a las ciencias de la computación, que llenan un vacío y satisfacen necesidades planteadas por el propio desarrollo inconexo de campos tradicionales como las matemáticas, la lingüística, la psicología, las ciencias económicas y sociales, la ciencia de la administración, algunas ramas de la ingeniería, la biblioteconomía y la moderna pedagogía.

II. LA CIBERNÉTICA, LAS COMPUTADORAS Y LOS PROCESOS MATEMÁTICOS FORMALES

Son muy numerosos los aspectos a los cuales sería necesario hacer referencia para describir a la cibernética en forma completa. Sin embargo, en estas páginas haremos referencia a sólo tres de los principales, por la relación que guardan con el párrafo primero de la Introducción.

El primero de ellos, de carácter gnoseológico, y por ello directamente ligado con el proceso de invención científica, se refiere a la idea hasta hace pocos años universalmente aceptada de que el hombre detecta con exclusividad, en la naturaleza, la *inteligencia* y por lo tanto la capacidad de creación intelectual.

El creciente dominio sobre la utilización de las computadoras, las demostraciones prácticas de transferencia de funciones lógicas y de gobierno (de control) a las computadoras, el desarrollo

de sistemas electrónicos capaces de "aprender" y de sistematizar sus experiencias anteriores para elaborar algoritmos,¹ que hacen posible la optimización de su ulterior comportamiento y la simulación en computadoras de numerosos procesos de creación intelectual y estética, han demostrado la posibilidad de desarrollar esa "inteligencia artificial" y auxiliar, de una manera que ahora sólo es posible entrever, a los procesos de producción intelectual.

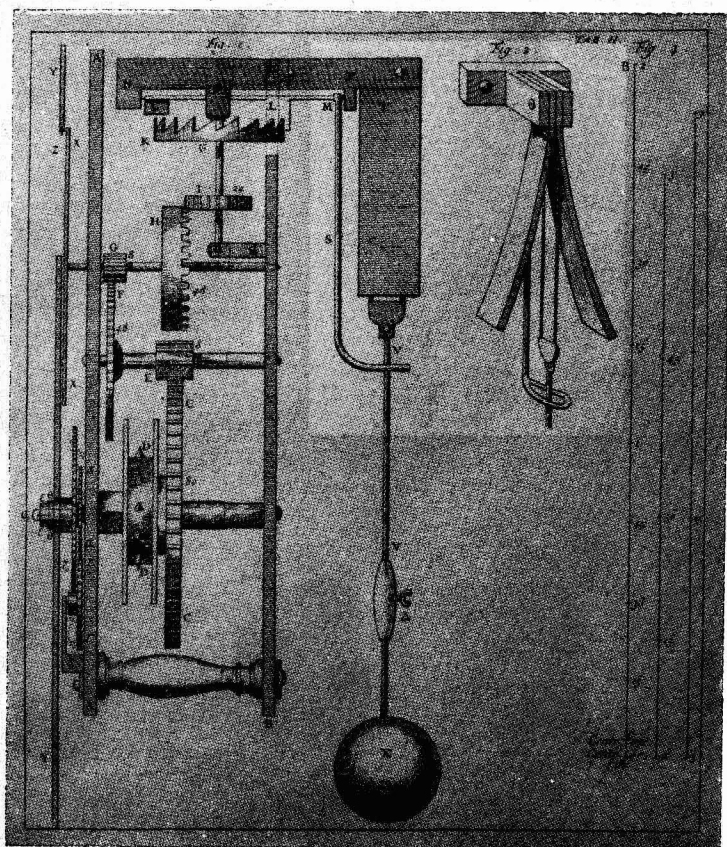
El desarrollo de la cibernética y de la utilización inteligente de la inteligencia artificial, ha hecho necesario racionalizar los argumentos del antropocentrismo intelectual. Ello ha originado dos posiciones extremas, ambas dogmáticas y erróneas: la de quienes niegan en absoluto a las computadoras toda capacidad de "pensamiento" y rechazan (con razón) la posibilidad de que se llegara a duplicar artificialmente al cerebro humano, y la de quienes caen en el sensacionalismo de los "cerebros electrónicos pensantes" e inclusive en la superación, mediante computadoras perfeccionadas, de las funciones del cerebro humano.

Como no tendría sentido dedicar mucho espacio a esta inútil controversia, nos limitaremos a exponer los siguientes hechos. No existe necesidad alguna de duplicar el cerebro humano, entre otras, por las siguientes razones: porque no se obtendría nada nuevo; porque para los fines de la cibernética sólo es necesario crear amplificadores y prótesis de algunas funciones mentales, y porque el proceso biológico de reproducción del cerebro es, hasta donde se conoce en la actualidad, satisfactorio.

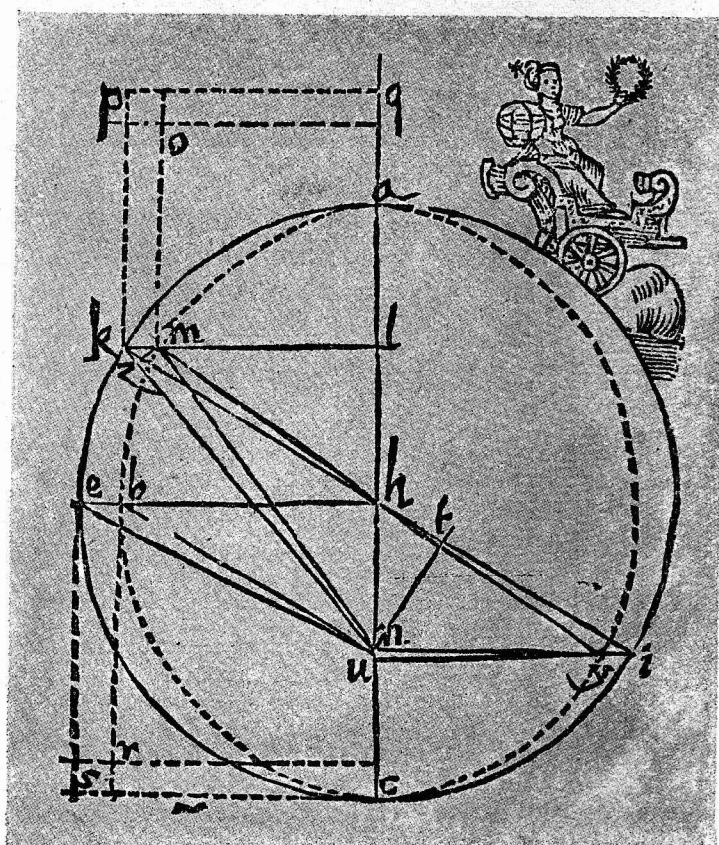
El segundo aspecto importante a que haremos referencia en estas páginas es a la universalización que la cibernética y el uso de las computadoras electrónicas ha impreso en algunos de los conceptos matemáticos especiales.

Entre otros, es importante mencionar la nueva actitud respecto a los conceptos de inducción y deducción. Cuando estos conceptos son examinados como *procesos reales* del pensamiento humano se comprueba que siguen los mismos métodos y están sujetos a las mismas leyes que cuando son utilizados como *procesos para computadoras*.

El ciberneta, de acuerdo con su experiencia, se ve obligado a rechazar el carácter de certidumbre *absoluta* que ciertos matemáticos atribuyen a aquellos conceptos. La certidumbre *total* respecto a fenómenos propios de un universo ilimitado sólo podría ser obtenida recibiendo una cantidad *infinita* de infor-



—Huygens: control para péndulo
"transferencia de funciones lógicas..."



—Kepler: órbita elíptica de Marte
"procesos reales del pensamiento humano..."

mación. Y la importancia práctica de estas consideraciones reside en saber si una computadora puede deducir conceptos similares. Para dar respuesta a esta pregunta, pongamos este ejemplo:

Mediante aquellos conceptos matemáticos se ha descubierto que:

$$(X + y)^3 = X^3 + 3 X^2 y + 3 X y^2 + y^3$$

En particular, se puede asegurar que los exponentes deben tener valores que aparecen en el segundo miembro, que los coeficientes del segundo y tercer término no sólo son iguales entre sí sino también iguales a 3. Estos son resultados cuya certidumbre puede *probarse* mediante una computadora; es posible calcular en poco tiempo ambos miembros de la ecuación para un gran número de valores de X y de y , comprobando para todos los casos que solamente los coeficientes iguales a 3 hacen válida la igualdad.

Y el argumento fundamental reside en que, si hasta ahora no conocemos otro método mejor para que la computadora *compruebe* la validez de la ecuación que el de hacer un número elevado de pruebas, lo cual impondrá límites al "universo" en que la relación es cierta, el matemático tampoco cuenta hasta ahora con otro método mejor, ya que los conceptos de inducción y deducción, aplicados a este ejemplo, sólo tendrán validez universal para matemáticos que no conozcan nada acerca de álgebra vectorial, de matrices, de grupos de anillos no conmutativos, o simplemente de álgebras en general.

O sea, que la realidad escueta es que la relación es cierta, si, y sólo si, nosotros deseamos que lo sea.

Si, por otro lado, el matemático utiliza comprobación obtenida para el ejemplo propuesto como lo hace el cibernetista, establecería un resultado heurístico: sabría con certidumbre de cuál de las muchas álgebras posibles se está tratando.

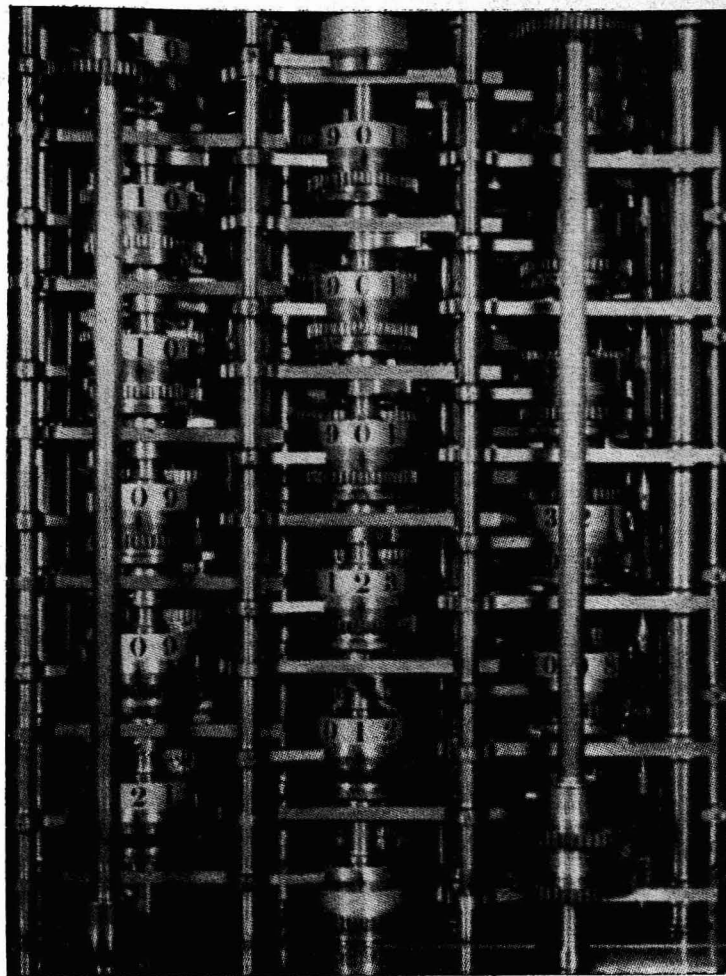
En general, una vez que se admite que los resultados obtenidos mediante los rigurosos métodos matemáticos carecen de certidumbre *infinita*, la totalidad de la estructura formal de inducción, deducción, predicción y decisión adquiere una naturaleza cibernética. La inducción es un mecanismo colector de información y la certidumbre que pueda asignarse a sus deducciones está acotada por la cantidad de información con que cuenta. Y el concepto matemático de inducción no podrá ser aplicado con éxito, ni por matemáticos ni en computadoras, hasta en tanto no sea establecido cómo va a captar o recibir la información necesaria.

En el caso de la deducción, y una vez que se reconoce que tampoco es posible obtener mediante su utilización ninguna prueba *absolutamente* cierta, tanto matemáticos como lógicos e investigadores en ciencias de la computación reconocen que el método equivale a la ejecución de un proceso *definido con precisión*. Si además se llega a encontrar que este proceso es isomórfico con otros, su utilidad puede ser mayor sobre todo en el campo de las ciencias de la computación, pero en todo caso lo que es necesario es que las operaciones que integran el proceso estén "bien definidas" y no sean contradictorias entre sí. Y desde este punto de vista, tanto una computadora como un matemático pueden deducir las consecuencias de un conjunto de postulados o la forma numérica de una función cualquiera.

Quedarían por examinar la predicción y la decisión, que constituyen sucesores naturales de los dos conceptos anteriores. En ambos casos, la cibernética y la utilización de las computadoras han permitido precisar con claridad la naturaleza de sus estructuras y ha sido demostrado exhaustivamente que constituyen procesos física y convenientemente realizables mediante computadoras. En cualquier caso debe tenerse en cuenta que la selección de una decisión hecha por cualquier sistema, sea éste humano o electrónico, guarda estrecha relación con la información recibida y que un "buen sistema de decisión" es simplemente un sistema que *procesa eficientemente* la información que le es alimentada. Una vez que la información alimentada ha sido utilizada, toda decisión adicional será arbitraria, ya que el sistema habrá llegado a lo que Ashby llama "el campo de la ignorancia".

III. LA CIBERNÉTICA Y LAS COMPUTADORAS EN RELACIÓN CON ALGUNOS CONCEPTOS FUNDAMENTALES DE LA FÍSICA

La física entró en la más importante de las etapas de su desarrollo cuando inició el estudio de las relaciones entre el calor (la fuente de energía mejor conocida) y el trabajo mecánico. En nuestros días se sabe que trabajo y calor son dos aspectos de una misma entidad y la ciencia que estudia su mutua conversión es la termodinámica.



"un proceso definido ejecutado con precisión"

Con base en la termodinámica y en la teoría cinética de los gases se fundamentó una concepción "entrópica" de numerosos fenómenos naturales. El concepto de entropía, que permite describir la extraña característica de irreversibilidad en la equivalencia entre calor y trabajo (la energía mecánica puede ser convertida íntegramente en calor pero la transformación inversa siempre será sólo parcial), hizo también posible una clasificación de los procesos: recibieron el nombre de *reversibles* aquellos para los cuales la entropía permanece constante y de *irreversibles* aquellos en los cuales la entropía aumenta.

La teoría cinética de los gases obligó a ampliar el concepto de entropía hasta convertirlo en una medida de la *cantidad de desorden* presente en un sistema, y como se dio por demostrado que la entropía tiende en forma natural a aumentar en todo sistema aislado, fue lógico considerar como "más probables" a los sistemas con grados máximos de desorden.

De estas consideraciones se derivó, hasta que la cibernética hizo posible una correcta apreciación de los fenómenos involucrados, una concepción del universo que podría resumirse así:

Si es ley universal que la entropía tienda a aumentar en forma sistemática, o sea, si la evolución física del universo es hacia el desorden creciente y todo proceso natural irreversible (toda evolución) provocará un aumento en la entropía, hay que admitir que la evolución lógica del universo es hacia una "degeneración sistemática".

Sin embargo, la experiencia diaria nos obligaría a admitir que el hombre constituye una excepción y que, o bien está dotado, o bien ha adquirido una cualidad "antientrópica" ² que lo hace capaz de convertirse en *generadores de orden*. Esto haría de su acción, de su civilización toda, un esfuerzo local, cósmicamente momentáneo, por retardar, por oponerse a la degradación general inevitable.

Sin embargo, la cibernética ha permitido enfocar estos conceptos desde un punto de vista más lógico y universal. Como es evidente, la física se ha fabricado a sí misma una tautología: demuestra la existencia de sistemas en los cuales la entropía aumenta, precisamente porque ha identificado sistemas en los cuales ése es el principio regulador, el de *gobierno*. Y aún más, los mismos sistemas en cuyo estudio se fundamentó este concepto de entropía dejan de ser "entrópicos" cuando algunas condiciones cambian, como es el caso de los gases en estado de plasma.

O sea, la entropía describe sólo casos particulares y es falso que todo fenómeno irreversible dé lugar a un incremento en ella.

De aquí sigue, lógicamente, el enriquecimiento que la cibernética ha aportado a la Teoría de la Relatividad y que podría, sintéticamente, describirse así:

La investigación científica, sobre todo en el campo de la astrofísica, demuestra la existencia de sistemas en los cuales no son válidos los principios de la entropía. Entre otros, los procesos de formación de estrellas y galaxias nos demuestran la existencia de una física de sistemas y efectos (que es precisamente la cibernética) entre cuyas leyes se cuentan la de la retroalimentación positiva y la retroalimentación negativa.

Brevemente, estas leyes pueden ser ilustradas utilizando el ejemplo de la formación de una estrella.

Desde el momento en que la acumulación de masa alcanza un cierto límite, el poder gravimétrico aumenta y esto origina, sobre la materia que la rodea, una atracción aún mayor. Éste es un caso de *retroalimentación* en el cual el efecto estimula la causa; desde un punto de vista termodinámico no sólo no existe aumento de la entropía sino inclusive una disminución de sus valores.

Puede constatar, por lo tanto, que en la nube original, sistema caótico con una entropía muy elevada, se presenta una "ruptura" del "orden" existente (que nosotros hemos llamado "desorden") y que la retroalimentación impone esa nueva expresión de "desorden" que se traduce en la tendencia a crear nuevos cuerpos celestes.

Como es evidente, los conceptos de "orden" y "desorden" son también relativos y una ley de crecimiento sistemático hacia el "desorden" tiene solamente un contenido subjetivo. En contraposición, la ley de retroalimentación tiene un contenido objetivo, una existencia intrínseca, puesto que determina la existencia de un proceso de evolución.

Desde el punto de vista cibernético, por lo tanto, las leyes de la retroalimentación, tanto positiva como negativa, aparecen como las leyes que describen el proceso fundamental de la evolución de los sistemas, del *comportamiento* dinámico de las estructuras. La lógica del desarrollo de los sistemas es entonces comprensible si se considera que la retroacción positiva hará que disminuya gradualmente el grado de dependencia del sistema respecto a sistemas que le son externos (su *comportamiento* dependerá en grado creciente de sus características intrínsecas). La evolución del sistema está *gobernada* por la magnitud de los cambios, provocados por una causa de naturaleza uniforme y que actúa en un mismo sentido. A su vez estos cambios provocarán un efecto, una *transformación en la estructura* que puede o no ser deletérea.

El efecto de la *retroalimentación negativa* es, precisamente, el de *gobernar* la magnitud de aquellos cambios. O sea, el de *estabilizar* el proceso de evolución y de transformación cualitativa de las estructuras y los sistemas.

¿Qué significa, por lo tanto, *gobernar* un sistema?

Por definición, un sistema *no gobernado* es un sistema que evoluciona en forma aleatoria (al azar). *Gobernarlo* significa aislarlo en grado necesario y suficiente para hacer posible que la información intrínseca (la que relaciona a sus componentes) le permita evolucionar: seguir un *comportamiento* y alcanzar sus *propósitos*.

La dificultad teórica estriba en el estudio de los procesos mediante los cuales esa información intrínseca hace posible el *control* y la *comunicación*, tanto en sentido endógeno como en sentido exógeno. Y por ello las computadoras electrónicas y, en general todos los mecanismos cibernéticos capaces de captar,



Antigua computadora griega

sistematizar, procesar y comunicar información, pueden ser considerados también como fenómenos que "fabrican entropía negativa", como "generadores de organización".

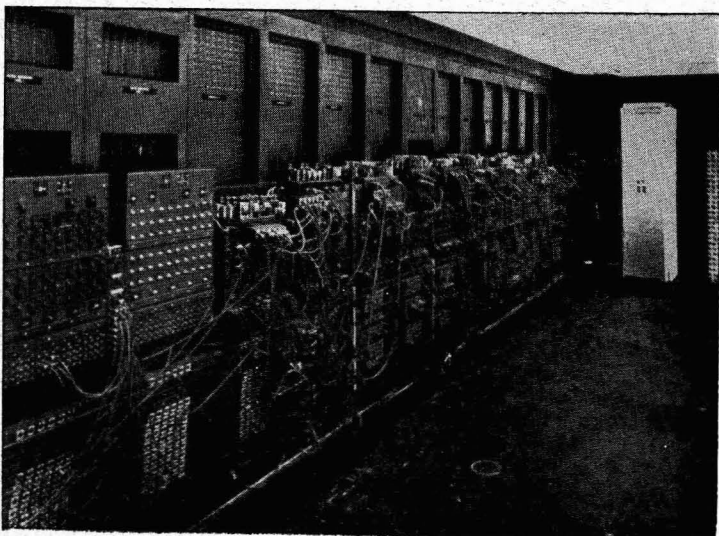
IV. LAS CIENCIAS DE LA COMPUTACIÓN Y DE LA INFORMACIÓN: DISCIPLINAS METODOLÓGICAS DE LA CIBERNÉTICA

La sistematización y desarrollo de la cibernética ha puesto en marcha una importante tendencia a la síntesis de diversas disciplinas científicas modernas. Esto no significa que la cibernética aspire a llegar a desempeñar el papel de "ciencia de las ciencias". Significa simplemente que, al plantearse como objetivos el estudio de los sistemas y sus estructuras, y de los procesos de información que permiten su gobierno y evolución (control y comunicación como Wiener lo expresó en su obra original), le ha sido necesario hacer abstracción de las particularidades individuales de los objetos y fenómenos que constituyen los sistemas y poner el énfasis en el estudio de las leyes generales de su comportamiento.

Para estudiar los sistemas y los procesos que ocurren en la naturaleza y que constan, o de elementos inorgánicos tanto naturales como artificiales, o de elementos orgánicos —incluyendo al hombre—, o de un conjunto de todos estos elementos, la cibernética ha desarrollado un importante conjunto de disciplinas científicas, que se refieren a, o se apoyan en, las computadoras electrónicas; por tal razón han venido a ser conocidas como "ciencias de la computación". La circunstancia de que guarden relación directa con los procesos y los modelos informativos, ha hecho que algunos autores prefieran llamarlas "ciencias de la información". Y por ello el Centro de Cálculo Electrónico de la Universidad Nacional Autónoma de México, el más activo en la investigación en estos campos de la América Latina, ha llamado a su revista periódica de diseminación científica *Ciencias de la Información y la Computación*.

El desarrollo de estas disciplinas ha sido posible, tanto en México como en el extranjero, gracias a la organización de proyectos interdisciplinarios de investigación científica en torno a los cuales se agrupan biólogos y fisiólogos, jurisconsultos y lógicos, economistas y sociólogos, psicólogos y pedagogos, administradores de empresas e ingenieros. El lenguaje común para ellos es la tecnología de la utilización de las computadoras electrónicas, y los resultados, aún si se mencionan solamente los alcanzados en México, ya son de sustancial importancia.

Otro importante denominador común en que han sido cimentadas las ciencias de la computación, lo constituyen las incipientes técnicas de la elaboración de modelos de los sistemas estudiados. En los modelos cibernéticos — de los cuales la gran mayoría son "modelos para computadoras" — se concede importancia capital a la obtención del isofuncionalismo, o sea, de la semejanza con el comportamiento (con el conjunto ordenado de funciones) del sistema modelado. Contribuye con gran eficacia al proceso de acercamiento e interfecundación de las diversas ciencias, la elaboración de "modelos informativos o de



"fabrican 'entropía negativa'..."

simulación" en las computadoras electrónicas. Estos modelos permiten la descripción de los sistemas, haciendo abstracción de las características sustantivas no sólo del sistema mismo, sino aun del modelo mismo, utilizando para ello los lenguajes formales desarrollados para establecer la comunicación con las computadoras. Su gran valor reside en que la elaboración del modelo mismo contribuye al proceso cognoscitivo en tanto que su flexible realización práctica en la computadora constituye la tecnología inmediata mediante la cual se comprueba la veracidad de las hipótesis de trabajo.

El centro de la modelación cibernética lo ocupan: algunas nuevas ramas de la lógica matemática, ciertas partes importantes del análisis funcional, las teorías del comportamiento del desarrollo y de la información, y diversas áreas de la lingüística, de la biología y de la neurofisiología.

El área común del conocimiento humano, definida por la unión (en el sentido del álgebra de conjuntos) de aquellas disciplinas, más las computadoras electrónicas y, en general, la teoría de autómatas y de sistemas formales, constituyen las ciencias de la computación, que a su vez proveen lógica para el análisis de sistemas y por lo tanto también para aquella área de cuyos resultados deduce sus generalizaciones la cibernética.

Las ciencias de la computación, en síntesis, se ocupan del análisis y de la síntesis de sistemas, por lo general descritos como sistemas de símbolos, y del análisis y de la síntesis de sistemas capaces de reconocer, generar, transformar, traducir y retroalimentar aquellos sistemas. Ambos tipos de sistemas pueden darse en el espacio, en el tiempo o en ambos, y la naturaleza de los símbolos puede ser discreta y continua.

Los procesos de reconocimiento, generación, transformación, traducción y retroalimentación, pueden ser secuenciales, continuos, mixtos y aun simultáneos. Los arreglos o estructuras de los elementos dentro de los sistemas de símbolos pueden ser desde aleatorios hasta lineales (como en el caso de este texto), y frecuentemente serán multidimensionales, como en el caso de los grafos y latices, de los cuadros estadísticos, las gráficas en un osciloscopio estereoscópico, o las fórmulas estructurales de la química orgánica, de una sinfonía o un ballet ejecutado por un conjunto coreográfico.

El isomorfismo que parece existir entre los procesos de interpretación lingüística, los procesos lingüísticos mismos y los procesos para cuya descripción adecuada han sido desarrollados los lenguajes, hace necesario incluir en las ciencias de la computación diversos aspectos relativos a los lenguajes naturales (lingüística computacional) y a sus procesos de evolución.

Como es evidente, la distinción entre las ciencias de la computación y otras disciplinas, como las matemáticas (puras o aplicadas) por ejemplo, es muy clara y distinta. El matemático puro lucha precisamente por emanciparse mentalmente de las restricciones que las interpretaciones convencionales imponen a las expresiones que utiliza para la construcción de sus abstractos sistemas y teorías, tratando de hacerlas impolutamente sintácticas e independientes de cualquier contenido semántico convencional. Al matemático aplicado sí le preocupa el significado de los símbolos y de las expresiones que utiliza, pero espera que estos significados, estos contenidos semánticos (que pueden ser muy diversos) sean independientes del sistema que se llegue a utilizar para interpretar las expresiones, sean éstos sistemas humanos, mecánicos o el resultante de la concurrencia de ambos.

Las ciencias de la computación, por el contrario, mantienen como problema central de su campo de estudio el de la relación de los sistemas de símbolos, incluyendo sus características con aquellas propias de los sistemas que deben manipularlos e interpretarlos, sean éstos sistemas lingüísticos, sociológicos, psicológicos o, fundamentalmente, computadoras electrónicas.

Para ejemplificar la diferencia, piénsese que un ingeniero experto en análisis numérico se halla preocupado por conocer, antes de utilizar un algoritmo dado, los teoremas de existencia o la validez del sistema formal matemático en cuyo marco ha desarrollado dicho algoritmo. Estas preocupaciones caerán dentro del campo de las matemáticas puras. Si por el contrario su preocupación es conocer cómo y en cuántos diversos fenómenos físicos puede utilizar adecuadamente dicho algoritmo, su preocupación será la del matemático aplicado.

El investigador en ciencias de la computación, por el contrario, empezará por considerar a dicho algoritmo como un "sistema procesador de información" y se ocupará de su eficiencia, de los tiempos necesarios para su correcta aplicación, de los problemas que plantea el control de su funcionamiento, de la estructura que deben tener los resultados visuales que produce, de la distribución eficiente de la memoria de computadora,

etcétera, etcétera. O sea, el campo de su investigación no es puramente "extensional", sino inevitablemente "intencional".

Si se tratase de un investigador en lingüística, su principal interés se concentraría en los aspectos funcionales o evolutivos de los lenguajes naturales, en tanto que el investigador en ciencias de la computación se ocuparía de los métodos para controlar en forma eficiente el comportamiento de los sistemas de información (entre ellos, los lenguajes).

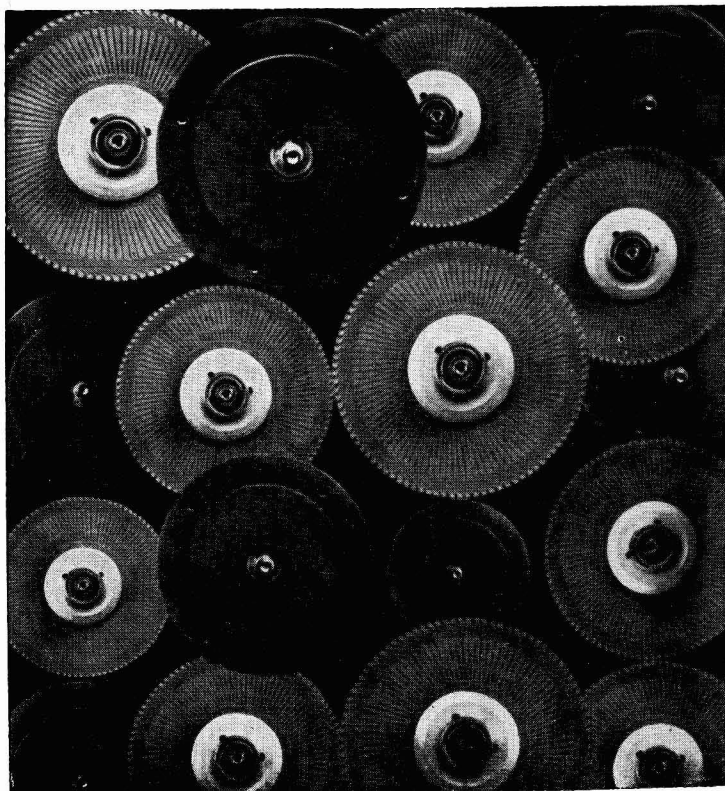
Un psicólogo consideraría como tema de interés el desarrollo de un buen modelo del comportamiento de un animal y en las ciencias de la computación se investigaría la utilidad de dicho modelo como elemento de control y comunicación, independientemente de que refleje o no el comportamiento de un animal.

V. LAS COMPUTADORAS ELECTRÓNICAS COMO EXPRESIÓN TÉCNICA DEL PASO A UNA NUEVA ETAPA DE CIVILIZACIÓN

Se ha señalado, en líneas anteriores, cómo las computadoras electrónicas constituyen no sólo el soporte técnico necesario para el desarrollo de la modelación cibernética, sino cómo ellas mismas pueden ser consideradas como uno de estos modelos formales cibernéticos a los cuales se les puede dar, a voluntad, una variedad ilimitada de "contenidos semánticos" que correspondan a las necesidades planteadas por el análisis de igual diversidad de sistemas.

Se han hecho también algunas breves reflexiones acerca de las computadoras electrónicas como dispositivos que dejan ya sentir un fuerte impacto en la teoría del conocimiento y en los procesos de formalización de las ciencias principalmente porque, a diferencia de todos los mecanismos "de energía" que integran el complejo de producción y distribución de bienes y servicios que el hombre ha creado para satisfacer sus necesidades materiales (en permanente proceso de expansión) y que constituyen prótesis energéticas y funcionales (algunas con altos grados de elaboración) de sus miembros y funciones somáticas, las computadoras constituyen, hasta ahora, la única prótesis que el hombre se ha dado de sus propias funciones mentales. Es el único mecanismo mediante el cual el hombre puede asomarse a sus propios procesos intelectuales internos y por ello constituyen ya poderosa ayuda en el estudio de la elaboración de los objetivos, y de los comportamientos para lograrlos, que el hombre desarrolla.

Esto nos lleva en forma natural a hacer referencia a una de las áreas en las cuales el impacto directo de las computadoras será de mayor importancia. Hasta ahora, no existe discusión en torno a los objetivos teleológicos de las computadoras. No sólo porque para ellas es indiferente (aunque puede el usuario hacer que esto no sea así) el resultado último de su actividad, sino también porque hasta hace relativamente poco tiempo sus objetivos eran, en realidad, resultado directo —efectivas transacciones— de los objetivos de sus usuarios humanos.³ Parte



"en permanente proceso de expansión"



"la computadora no sólo elabora sus propios objetivos..."

importante de las razones por las cuales una computadora que juegue ajedrez derrota a los jugadores humanos, es que para ella será "indiferente" el resultado final. En ella no existe ni el temor a perder, ni la motivación psicológica por ganar.

Al avanzar en el área de la elaboración de modelos heurísticos mediante los cuales la computadora no sólo pueda elaborar sus propios objetivos, sino inclusive decidir cuál de ellos es el que optimiza su propio comportamiento según uno u otro criterio, el hombre se irá liberando no sólo de las tareas de "elemento de gobierno" de máquinas de energía, sino también de muchas de las tareas rutinarias que implica la adopción de decisiones relativas al comportamiento y el control de sistemas.

Las computadoras electrónicas tendrían dos impactos adicionales de gran importancia en el futuro desarrollo social y económico de la humanidad:

i. Al hacer posible la cibernética la descripción de las complejas relaciones entre los elementos de un sistema y su representación y manipulación simultánea en las computadoras, se dejará sentir un importante cambio en la dirección y la amplitud en que se desarrolla la investigación científica. Mayor énfasis se pone ya en el estudio de los efectos de la comunicación y de retroalimentación, tanto en la biosfera misma como entre ella y el hombre como entidad biológica.

ii. Al hacerse una realidad el implantar los sistemas automáticos de control (de gobierno) de los procesos de producción, de distribución y de servicios, se experimentarán cambios fundamentales en la organización de estos procesos y será necesario examinar, bajo las nuevas condiciones, los conceptos básicos de la economía, de la sociología, de la psicología y de muchas otras disciplinas.

La retroalimentación y mutuo condicionamiento entre estos dos grandes desarrollos: la revolución en la investigación científica y la modificación en los procesos de producción, pondrá al alcance de la mano no sólo una identificación oportuna de los problemas, sino también, posiblemente, la adopción de soluciones razonables en límites de tiempo que ahora se consideran inalcanzables.

Las computadoras electrónicas hacen posible el estudio de las comunidades humanas y de las organizaciones sociales como sistemas biológicos supra individuales que, por ello, son analizables desde el punto de vista de su fisiología, de su metabolismo y de su patología. Si además, se acepta como principio general que el hombre es un sistema viviente que forma parte inseparable de la realidad objetiva que lo rodea —de la biosfera—, es necesario dar respuesta a numerosas incógnitas acerca de sus motivaciones, actitudes, instituciones políticas y procesos científicos y técnicos.

Aunque la utilización de las computadoras electrónicas en el estudio de sistemas complejos está en las fases iniciales de la exploración de un gran potencial, es ya evidente que la simulación, en ellas, de las relaciones entre el hombre y el medio ambiente es una de las necesidades más urgentes.

El estímulo que estos instrumentos han dado a una actitud de investigación científica interdisciplinaria, ha hecho que el científico, el ingeniero y el técnico empiecen a tomar en cuenta las implicaciones y consecuencias que se derivan de su trabajo.

Para terminar, puede asegurarse que en el proceso histórico del desarrollo de nuestra civilización los hombres han sido substituidos o desplazados por máquinas solamente en aquellas tareas que ningún ser humano *debería estar* desempeñado. Si aprendemos a hacer un uso racional de las computadoras electrónicas y del desarrollo que se derivará de sus aplicaciones, se obtendrá para el hombre la libertad necesaria para que desempeñe tareas humanas.

—S. F. B.

¹ "Algoritmo" a una secuencia finita de acciones, mediante la cual se obtiene al menos una solución a un problema dado.

² H. Bergson la consideró como "capacidad de fabricación de entropía negativa".

³ Una de las atractivas características de la moderna tendencia a utilizar las computadoras como mecanismos con "tiempo compartido" (*time sharing* en inglés) o de acceso múltiple, es que ha sido necesario construir nuevos sistemas en los cuales concurren diversos objetivos. Inclusive en algunas computadoras modernas se han incorporado circuitos electrónicos que permiten a la computadora misma elaborar sus propios "objetivos" (aún en forma muy primitiva) para satisfacer aquellos exógenos simultáneamente planteados.