

EL COMPORTAMIENTO AUTOMÁTICO: LA CIBERNÉTICA

1. DELIMITACIÓN TEÓRICA

La dificultad para definir este nuevo campo científico, llamado Cibernética, es uno de sus rasgos definitorios más conocidos. Naturalmente que esto no es un problema muy grave, puesto que la mayor parte de las ciencias tardaron más en definirse que en constituirse como tales. Sin embargo, es posible que la mejor solución a este problema sea preguntarnos por qué surge la Cibernética, a falta de una definición explícita.

La Cibernética aparece como tal hace menos de un cuarto de siglo, y es de suponer que no habrá surgido por azar. Parece más coherente pensar que el campo de fuerzas de la estructura social encauza y condiciona el desarrollo del conocimiento humano. ¿Cuál puede ser entonces la sociogénesis del fenómeno cibernético?

La idea nos la puede ofrecer implícitamente un párrafo (citado por Mac Luhan, 1969) del antropólogo Edward T. Hall (1959):

«En nuestros días el hombre ha desarrollado extensiones o prolongaciones para realizar casi todos los actos que antes llevaba a cabo sólo con su cuerpo. La evolución de las armas comienza en los dientes y el puño y termina en la bomba atómica. El vestido y la casa son extensiones del mecanismo biológico para la regulación de la temperatura. Los muebles han sustituido a los talones o al suelo cuando ha de sentarse. Las máquinas-herramientas, las lentes, la televisión, los teléfonos y los libros, que transmiten la voz a través del tiempo y del espacio, son ejemplos de extensiones materiales. El dinero es un medio para extender y almacenar el trabajo. Nuestras redes de transporte hacen ahora lo que antes hacían nuestros pies y nuestras espaldas. De hecho, todas las cosas materiales realizadas por el hombre pueden considerarse como extensiones de lo que el hombre hizo antes con su cuerpo o con alguna parte especial de él.»

La tecnología ha desarrollado artificialmente la actividad humana, que antes se restringía a la propia unidad orgánica; pero este desarrollo, como observa MacLuhan, lleva consigo la aparición de nuevas características en la actividad humana. La actividad limitada al individuo, la puesta en marcha de sus sentidos y operaciones estaba perfectamente integrada y controlada por su propia unidad orgánica o, si se prefiere, por su sistema nervioso central, pero al prolongarse nuestros sentidos en sistemas tecnológicos autónomos desaparece la integración primitiva, con la consiguiente pérdida de control. El sujeto humano se encuentra sin la capacidad suficiente para asimilar y organizar unas fuentes de actividad que surgieron a partir de él, pero que ahora se rigen por fuerzas autónomas. Este es un fenómeno muy comentado ya en los estudios de sociología y que ha recibido diversos nombres en función del punto de vista adoptado: especialización, irracionalidad de la sociedad actual, antihumanismo, etcétera.

Comoquiera que sea y en determinados momentos, fue necesario pensar en la creación de unos mecanismos de control y comunicación entre las distintas técnicas y actividades, lo suficientemente potentes como para poder asimilar todo el material científico actual y, por otro lado, lo bastante similares al hombre como para poder sustituirlo en su primitiva labor de integración y organización. Naturalmente que esto se hizo patente en un determinado momento histórico, del que hablaremos más adelante, pero es evidente que la estructura de la sociedad lo estaba exigiendo ya.

Bajo este marco de interpretación sociogenético, encontramos un mayor significado a la difusa definición establecida por Wiener: Cibernética, como ciencia del control y la comunicación en el animal y en la máquina. Esto significa, según otros (H. Frank, 1966), que la nueva ciencia establece un encuentro entre las ciencias, un puente entre las ciencias hasta ahora incomunicadas, sin lenguaje común. Sea como sea, se la puede considerar como una disciplina nueva que se superpone a las ciencias tradicionales con una actitud característica.

2. EL MOMENTO HISTÓRICO DE APARICIÓN

Por supuesto que el marco de referencia sociogenético de la Cibernética no impide que tenga una historia concreta (Jramoi, 1969), que podríamos calificar de causa desencadenante. Y, anteriormente a esta causa, también existe una prehistoria llena de máquinas de jugar al ajedrez o similares, que no tuvieron excesivo impacto en una época en que no urgía la integración de la actividad científica y tecnológica. Es a finales de la primera mitad del siglo XX cuando se convierte en imprescindible esta necesidad, justo en el momento en que la sociedad atraviesa uno de esos momentos irracionales que promocionan la actividad tecnológica: una guerra mundial.

En la Segunda Guerra Mundial se concretan los problemas de la incomunicación tecnológica; las máquinas de destrucción se hacen más precisas y dif-

ciles de manipular. El operador humano se convierte en insuficiente, puesto que su capacidad de reacción, de precisión y decisión no alcanza los niveles de los nuevos artefactos. No es fácil predecir en unos segundos la trayectoria de un proyectil para alcanzar a un avión enemigo de gran rapidez. Se necesitan nuevos ingenios mecánicos para manipular los antiguos. Un grupo de investigadores se ocupa de este problema y, una vez terminada la Gran Guerra, publican sus adelantos y elaboran su significación. Es así como aparecen las publicaciones de Norbert Wiener y Claude Shannon.

Por otro lado, las máquinas construidas tienen una serie de características que recuerdan de cerca el comportamiento humano (Von Neumann, 1964):

- Recepción, selección, almacenaje y emisión de información.
- Reacciones a los cambios en el medio ambiente.
- Razonamiento deductivo desde un conjunto de presupuestos o postulados.
- Aprendizaje por experiencia acumulada.

Las publicaciones cibernéticas, que aparecen a partir de 1948, elaboran unos métodos de control y comunicación que se aplicarán inmediatamente a los campos científicos más dispares: desde la biología hasta la investigación física, desde la medicina hasta la estética, desde la fundamentación de la matemática hasta la psicología de la información, pasando por una serie de aplicaciones técnicas, comerciales y estratégicas.

3. LA FUNDACIÓN DEL MÉTODO CIBERNÉTICO

Por supuesto que estos comentarios sobre la génesis histórica de la Cibernética nos hablan de la necesidad social de su aparición, pero habrá que pensar también que las estructuras científicas del momento posibilitaron la creación del nuevo campo de conocimiento.

Wiener (1948) piensa que las teorías que tienen espíritu cibernético (Couffignal, 1969) y que sirven de pilares son:

- a) La mecánica estadística.
- b) La teoría de la información de Shannon.
- c) La teoría de la retroalimentación (*feed-back*) en mecánica.

Pero, si bien estas tres teorías forman el núcleo de la Cibernética, pensamos que las corrientes teóricas que fundamentan el método cibernético pueden resumirse en tres amplias direcciones (George, 1968):

- Una mentalidad conductista.
- El desarrollo de la matemática y, sobre todo, de la lógica matemática.
- Los avances de la ingeniería y la electrónica.

a) *Mentalidad conductista.*—Si el problema básico consistía en imitar o simular las funciones de integración, control y comunicación características

del comportamiento humano, es indudable que las soluciones intentadas deberían recurrir, implícita o explícitamente, a los conocimientos psicológicos. Pero la Psicología también tiene su historia, que nos lleva desde el estudio de las facultades del alma, pasando por ser una ciencia de la mente o la conciencia humana, hasta una Psicología objetiva que renuncia a todo conocimiento que no sea científico, directamente observable y totalmente objetivo.

Puede suponerse que si el problema cibernético se plantea en el momento en que la Psicología era un estudio de las facultades del alma, difícilmente se podría intentar simular el comportamiento humano. Pero ya a partir de 1912, con las formulaciones de Watson, la orientación conductista posibilita una metodología científica del estudio de la conducta humana, que va a constituir la base psicológica del método cibernético. Resulta muy sugestivo observar cómo las actitudes básicas del conductismo (S. Koch, 1954) pueden postularse perfectamente de la Cibernética:

1. Insistencia en las técnicas intersubjetivas (objetivas) para asegurar y expresar los datos empíricos.
2. Proponer a las variables de estímulo y respuesta como las únicas variables independientes y dependientes legítimas para expresar los resultados de la investigación psicológica y las teorías formuladas.
3. Comprometerse con los principios de respuesta condicionada, o con alguna forma relacionada de asociacionismo E-R, como leyes básicas del aprendizaje.
4. Conceder gran importancia a los determinantes «periféricos» de la conducta.
5. Conceder gran importancia al medio ambiente.

La Cibernética hará suyas estas actitudes (Ashby, 1956) y no tendrá ningún inconveniente en aceptar que la conducta consiste en una entrada de información, en forma de estímulos, que provoca unas respuestas determinadas por medio de unos procesos intermedios, que no son accesibles a la observación directa. La conducta de un computador, por ejemplo, consiste exactamente en este mismo proceso.

Al nivel en que nos encontramos, podemos decir ya que la Cibernética se ocupa de la construcción de máquinas o modelos que transforman una forma de información en otra.

b) *Lógica matemática*.—Otro de los fundamentos básicos de la Cibernética lo constituye la matemática o, quizá con más precisión, la lógica matemática, cuyo interés primordial consiste en ser un lenguaje preciso, organizado y sistemático, de máxima utilidad para construir los modelos de los que anteriormente hablamos.

Pero, además, de la matemática surge uno de los conceptos de mayor relevancia en el método cibernético: el concepto de algoritmo, también llamado procedimiento de decisión. Trajtenbrot (1967) define el concepto de algoritmo del siguiente modo:

«Por algoritmo entendemos una prescripción exacta del orden determinado en que ha de ejecutarse un sistema de operaciones para resolver todos los problemas de un cierto tipo.»

Dicho de otra forma, un procedimiento de decisión es un método para resolver automáticamente una serie de problemas del mismo tipo, sin que la persona que lo realiza conozca el significado y las intenciones de las instrucciones y reglas. El realizar una suma, una multiplicación y otras operaciones matemáticas consiste en realizar una operación totalmente automática, que no necesita ningún tipo de proceso creador.

La Cibernética piensa que una serie de actividades, que hasta ahora las realizaba el operador humano, son totalmente algorítmicas. Como consecuencia, pueden ser ejecutadas perfectamente por una máquina que posea unos axiomas previos sobre el problema y unas reglas de transformación para realizar las operaciones necesarias. Un ejemplo concreto de ello puede verse en las máquinas de calcular, que realizan operaciones con mayor rapidez y precisión que cualquier sujeto humano.

c) *Ingeniería y electrónica.*—Por supuesto que el construir máquinas que realicen una serie de operaciones algorítmicas presentaba una serie de dificultades de orden técnico relacionadas con la ingeniería y electrónica. Sin embargo, los avances técnicos necesarios fueron realizándose y manifestándose, que han sufrido las máquinas de calcular. Sabido es que la historia de las modernas computadoras tiene su origen en la modesta calculadora vulgar de oficina, que funcionaba manualmente. La idea clave fue que, si la operación manual sobre la calculadora era de tipo algorítmico, entonces no había ningún inconveniente en convertirla en totalmente automática, con las consiguientes ventajas de mayor precisión, mayor rapidez y relevar al hombre de una tarea mecánica.

A partir de aquí, los demás pasos ya eran obligados. El siguiente fue incorporar a la calculadora automática un almacén de información, que permitiera consultar los datos para calcular a la velocidad de la corriente eléctrica y acumular todos los resultados posteriores para una futura aplicación. El nuevo problema residía ahora en ampliar cada vez más la capacidad del almacén de información. Esto dio una gran flexibilidad a las nuevas máquinas.

El siguiente paso fue incorporar a la calculadora unos órganos sensibles que fueran capaces de recoger información del medio externo en que se encontrasen; estos órganos fueron unos electrodos suficientemente complejificados y sensibilizados como para poder cumplir la función que se les exigía.

Los elementos principales ya estaban conseguidos; si cogemos una calculadora automática, le añadimos un almacén de memoria y la dotamos de unos órganos sensibles, tenemos prácticamente la estructura básica de una moderna computadora.

Continúa la carrera tecnológica en este terreno, pero carece de importancia teórica, puesto que no existe ninguna imposibilidad lógica para su avance.

Nuevos tipos de circuitos integrados, transistores, etc., van apareciendo, de forma que hacen posible pensar en breve plazo en computadoras de un tamaño lo suficientemente reducido como para que se puedan introducir dentro del cerebro humano (por ejemplo, la tecnología experimental del profesor Delgado, Universidad de Yale).

4. TEORÍA DE MÁQUINAS CIBERNÉTICAS

Sin embargo, hablar de máquinas cibernéticas y de sus técnicas de construcción, no es hablar únicamente de computadores. En primer lugar, el concepto de máquina en Cibernética no lleva consigo la implicación de estar construida realmente (*hardware*), sino sólo la de ser posible de construir efectivamente; la máquina puede ser un diseño construido sobre el papel (*blue-print*), mediante técnicas especiales.

Las principales técnicas de construcción de máquinas en diseño son los modelos de la Teoría de la Información, las llamadas redes lógicas o neurales y los sistemas de programación.

La *Teoría de la Información* parte de un análisis de lo que constituye un proceso de comunicación. Como tal proceso, debe constar de una fuente de información, que emite un mensaje cifrado en un código o «lenguaje» por medio de un transmisor; este mensaje recorre el canal de comunicación hasta llegar al receptor, que lo decodifica para poder ser asimilado en su destino. Debe suponerse también que existe una fuente de interferencias o de ruidos que incide en el canal de comunicación, produciendo disturbios en la transmisión del mensaje. El problema de las interferencias intenta resolverse en las telecomunicaciones por medio de un filtro, conectado directamente a la fuente de información y al destino, de forma que pueda comparar y corregir la transmisión del mensaje. Este es el esquema ya clásico de Shannon y Weaver sobre la unidad típica de información.

Los procesos de comunicación pueden ser vistos o estudiados a tres niveles distintos:

a) *Nivel sintáctico*: Problemas relacionados con la transmisión de los símbolos usados en la comunicación. La lógica matemática es uno de los instrumentos más adecuados para esta problemática.

b) *Nivel semántico*: Problemas relacionados con la significación de los símbolos utilizados. Este nivel se puede considerar como el propio de la filosofía del lenguaje.

c) *Nivel pragmático*: Problemas relacionados con las repercusiones del mensaje sobre la conducta del organismo. Naturalmente, éste es el nivel propio de la Psicología.

Sin embargo, el desarrollo de la Teoría de la Información se fundamenta, principalmente, en una rama de la matemática denominada Teoría de las Probabilidades, puesto que problemas tales como la cantidad de información que

pasa a lo largo de un determinado canal o su capacidad de comunicación exigen un tratamiento matemático.

La Teoría de la Información tiene múltiples aplicaciones y no todas suficientemente desarrolladas todavía. Su repercusión más importante consiste en su utilidad para describir y estudiar tanto los sistemas vivientes como los inanimados, los materiales como los formales, con tal de que se estudien desde el punto de vista de sus procesos de comunicación.

Actualmente la Psicología comienza a estudiar el aprendizaje a base de las ciencias de la información, y a definirlo como la aplicación de información ya obtenida a nuevas observaciones. El Sistema Nervioso Central se interpreta también como un modelo de procesos de intercomunicación y de integración de información. Pero no solamente este tipo de ciencias utiliza los modelos de información, sino que otras muy distintas, como la Estética, comienza a aplicarlos en el estudio del mensaje artístico.

Por otro lado, las *redes lógicas o neurales* son de especial interés para la investigación cibernética. Es un sistema de representación gráfica en circuitos eléctricos o neuronales de cualquier estructura lógico-matemática; su característica principal es la de poder ser reproducida materialmente con entera facilidad. Es una de las técnicas más utilizadas para simular el comportamiento humano.

El Autómata (Shannon y McCarthy, 1956) es otro modelo cibernético, construido por un número finito de partes, que se llaman elementos o células. Estas células están interconectadas entre sí con una estructura determinada, que define su actividad. Su diferencia principal con los computadores estriba en que éstos necesitan de un programa de actuación, mientras que la actividad del autómata viene determinada por su estructura de construcción.

En cuanto a los *sistemas de programación*, se les puede definir como lenguajes artificiales cuya finalidad es comunicarse con los computadores, mediante los cuales es posible construir modelos y comprobar fácilmente su funcionamiento. Los programas que han resultado ser útiles se pueden almacenar en la memoria del computador e incluirlos como parte de otros programas más ambiciosos. De esta manera se ha conseguido construir programas de inducción, de aprendizaje, de solución de problemas, etc.

5. EL CAMPO DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL

A medida que se fueron realizando modelos cibernéticos de comportamiento, surgía de un modo espontáneo la especialización del campo de trabajo. El uso de computadores de propósito general, por su gran flexibilidad y reducido costo en comparación con los modelos electrónicos especiales, impulsó la investigación mediante sistemas de programación. La aparición de programas sobre teoría de juegos, solución de problemas, razonamientos lingüísticos, prueba automática de teoremas y otros de este tipo, todos los cuales parecen

implicar cierto grado de inteligencia, unificó uno de los campos de investigación más prometedores: el campo de la Inteligencia Artificial.

Según Minsky (1963), se pueden dividir en cinco grandes apartados los problemas que se plantean en la investigación de una Inteligencia Artificial:

a) *Investigación automática*: Programas para que la máquina investigue una serie de soluciones a un problema y consiga dar con la más útil.

b) *Reconocimiento de formas*: Programas para extraer las características relevantes de los objetos de estudio.

c) *Aprendizaje*: Programas que refuerzan la eficiencia de la solución de problemas mediante experiencia acumulada.

d) *Planificación*: Programas para producir estrategias de solución de problemas.

e) *Inducción*: Programas que establecen generalizaciones sobre los datos obtenidos.

Como se habrá podido observar, el trabajo para lograr una Inteligencia Artificial depende de una manera fundamental, aunque no exclusiva, del conocimiento y uso de los computadores. Un computador es, como ya insinuamos anteriormente, una máquina electrónica que, apoyándose en la información recibida desde el exterior, realiza cálculos a velocidades increíbles: los computadores son máquinas destinadas al tratamiento automático de la información.

Los elementos esenciales de que se compone un computador son los siguientes:

- Unidad de entrada (*input*): Por ellas se suministran datos e instrucciones a la máquina.
- Unidades de salida (*output*): Obtención de los resultados.
- Unidad de control: Dirige y coordina todo el sistema, seleccionando el orden en que las instrucciones deben ser ejecutadas.
- Unidad(es) de memoria: Almacenamiento de datos.
- Unidades aritméticas y lógicas: Organos de cálculo que efectúan las operaciones aritméticas y lógicas.

Los avances tecnológicos permiten actualmente la comunicación a distancia con un computador mediante «terminales». Estas pueden encontrarse localizadas en cualquier lugar en el que se pueda instalar un teléfono: su comunicación con la unidad central es, por tanto, mediante hilo telefónico; el hombre se comunica directamente con estas terminales que, a su vez, transmiten directamente la información al computador.

Ahora bien, en la comunicación del hombre con la máquina intervienen tres tipos de lenguaje:

a) *Lenguaje de programación*: Lenguaje simbólico, más o menos universal, en que el programador escribe sus programas.

b) *Lenguaje de máquina*: Es el que el computador entiende y a base del cual opera internamente.

c) *Lenguaje de compilación (compilador)*: Lenguaje traductor del lenguaje de programación al de la máquina o a la inversa.

Mediante el lenguaje de programación se forman los conjuntos de instrucciones sobre las operaciones que debe realizar el computador. Un programa es una descripción detallada de cada uno de los pasos que han de llevar a la solución de un problema determinado. Normalmente, se llama *programa fuente* a un programa escrito en un lenguaje de programación, y *programa objeto* a ese mismo programa traducido al lenguaje de máquina.

Al contrario de lo que se piensa normalmente, el desarrollo actual de los computadores es suficiente, en cuanto a potencia y estructura, para simular la mayoría de los procesos inteligentes. Hoy día se puede afirmar que el problema radica principalmente en los sistemas de programación; es decir, en encontrar lenguajes adecuados al tipo de problemas que queremos simular. Este es el núcleo central de la investigación en Inteligencia Artificial.

6. RESUMEN

Hemos visto que la Cibernética surge por una exigencia social ante los adelantos tecnológicos en los sistemas de acción humanos y que su temática se centra en el control y la comunicación.

La falta de una definición de Cibernética ha sido uno de los problemas característicos de este campo y, a medida que desarrolla su investigación, se hace más difícil una posible definición. Por esta razón, algunos autores pretenden caracterizar la Cibernética más como una nueva actitud científica que como una ciencia determinada.

Actualmente se prefiere el término de «Inteligencia Artificial» para designar el estudio de los modelos automáticos que simulan procesos adaptativos, de ultraestabilidad por medio de sistemas analógicos (servomecanismos, máquinas teleológicas, procesos homeostáticos, etc.). De todas formas, la delimitación de estas áreas de investigación está muy lejos de conseguirse y cada autor propone sus propios sistemas de clasificación y terminológicos.

Sin embargo, a falta de una clarificación sistemática, el desarrollo de estos estudios es cada día más acelerado y su aplicación a las ciencias del comportamiento indiscutible.

BIBLIOGRAFIA

- ASHBY, W. R. (1956), *An Introduction to Cybernetics*, Londres, Chapman and Hall.
 COUFFIGNAL, L. (1969), *La Cybernetique*, Paris, P. U. F.
 FRANK, H. (1966), *Cibernética. Un puente entre las ciencias*, Barcelona, Ediciones Zeus.
 GEORGE, F. H. (1968), *Cibernética y Biología*, Madrid, Ed. Alhambra.
 HALL, E. T. (1959), *The Silent Language*, New York, Double-Day.
 JRAMOI, A. V. (1969), *Introducción e Historia de la Cibernética*, México, Ed. Grijalbo.

- KOCH, S. (1954), «Clark L. Hull», en Estes, Koch et al.: *Modern Learning Theory*, New York, Appleton Century Crofts.
- MACLUHAN, M. (1969), *La Galaxia Gutenberg*, Madrid, Ed. Aguilar.
- MINSKY, M. (1963), «Steps toward Artificial Intelligence», en Feigenbaum y Feldman (Eds.): *Computer and Thought*, Londres, McGraw-Hill.
- NEUMANN, J. von (1964), *The Computer and the Brain*, London, Yale University Press.
- SHANNON, C. E., y MCCARTHY, J. (1956), *Automata Studies*, London, Oxford University Press.
- TRAJTENBROT, B. A. (1967), *Introducción a la Teoría Matemática de las computadoras y de la Programación*, México, Siglo XXI.
- WIENER, N. (1948), *Cybernetics*, Cambridge, Mass., The M. I. T. Press.