

MATERIALES SOBRE LA PREHISTORIA
DE LA CIBERNETICA*

VOLKER HENN*

* Del Instituto de Fisiología de la Universidad Libre de Berlín. Publicado en *Stadium Generale* (Berlín). Vol. 22, pág. 2.

La cibernética ha hecho grandes progresos en los últimos años y ha evolucionado en diversas direcciones. Sin embargo, hasta el presente sigue sin conseguirse una definición general para la cibernética que abarque todos los aspectos de su actual desarrollo y aplicación y que sea aceptada indistintamente por técnicos, biólogos y filósofos. Al aludir al tema general de la serie de artículos sobre cibernética programados para ir siendo publicados en la revista "Studium Generale" se plantea la cuestión de qué es, propiamente, "cibernética" desde los respectivos puntos de vista de las distintas especialidades. La cibernética es considerada como método o ciencia auxiliar o bien como ciencia independiente. La presente serie de artículos refleja claramente los múltiples y divergentes desarrollos. En la situación actual la cuestión del estado actual de la cibernética apenas puede ser contestada por un especialista aislado. De aquí que por el momento un pronóstico sobre el futuro de la cibernética sólo pueda ser especulativo.

Echando una mirada retrospectiva surgen las siguientes cuestiones:

1. ¿Quién acuñó y cómo fue definido el concepto de cibernética?
2. ¿Se usó ya antes, y con qué significación, el término cibernética?
3. ¿Hubo alguna vez arranques y desarrollos en los que pudieran intuirse ideas y procedimientos afines o iguales a la cibernética, que, sin embargo, quedaran sin evolucionar o bien cayeran en el olvido?

La primera cuestión es fácil de responder. Fue Norbert Wiener quien acuñó el concepto de cibernética, sobre el que escribe en su biografía: "Busqué ante todo una palabra griega que significara "mensajero", pero solamente conocía *angelos*. Mas este término griego en inglés tiene el significado de ángel, mensajero de Dios, y por tanto no me servía. Busqué entonces una palabra adecuada del campo de la navegación y el control. La única palabra que se me ocurrió fue el nombre griego de timonel, *kybernetes*. De él formé el término de "cibernética". Más tarde pude comprobar que una palabra análoga había sido empleada en Francia, si bien en sentido sociológico, desde principios del siglo XIX por el físico AMPÈRE; pero a la sazón yo ignoraba esto. Por la expresión de "cibernética" me hizo decidirme el hecho de ser ésta la palabra más idónea que podía encontrar para designar la técnica y la ciencia del control en todo el campo en que este concepto tenía aplicación" (WIENER, 1956, pág. 263).

Cibernética, pues, es una palabra artificial acuñada hace sólo 21 años. Es obvio, por tanto, que ningún intento de etimología filológica puede con-

tribuir a definir esta ciencia. WIENER desarrolló nuevas asociaciones de ideas y buscó un término para designarlas. Si antes se empleó la palabra "cibernética", a buen seguro que no tuvo relación alguna con el concepto que WIENER define así: "Control and Communication in the Animal and the Machine" (Control y comunicación en seres vivos y máquinas). (WIENER, 1948, subtítulo de *Cybernetics*.)

Según se desprende de la cita de la autobiografía de WIENER, también la segunda cuestión puede contestarse de modo positivo. En 1834 publicó AMPÈRE su libro *Essai sur la philosophie des sciences*. El autor trataba de establecer un sistema completo de todas las ciencias. Distinguía entre "sciences cosmologiques" (más o menos equivalentes a ciencias naturales) y "sciences noologiques" (que abarcaban la filosofía, la sociología y la economía). Las "sciences cosmologiques" son allí especificadas y delimitadas con toda precisión, así como establecida su división. Las "sciences noologiques", por el contrario, sólo son presentadas en una tabla en la que con el número 83 se cita "Cybernétique" bajo la columna de "Politique proprement dite" (política en sentido estricto). A fin de quedar mejor grabada la división, AMPÈRE escribió un poema didáctico dedicado a su "muy aventajado y querido hijo" (*Optimo et carissimo filio carmen mnemonicum*). En dicho poema se parafrasea la cibernética en la siguiente línea: "Et securae cives ut pace fruantur" (Para que los ciudadanos puedan gozar de una paz segura). Ésta es la única explicación que AMPÈRE da de la palabra "Cybernétique". Él empleó el término para designar una posible ciencia, la cual todavía hoy sigue siendo utópica.

Del todo crítica es la postura que HEYDE (1965) adopta ante la terminología de la cibernética. Demuestra que en la actualidad muchas palabras derivadas del griego tienen en la especialidad de la cibernética, *per definitionem*, una significación completamente nueva. De aquí que en general no sea procedente hacer derivar términos técnicos directamente de conceptos griegos antiguos.

La definición de WIENER es una definición por enumeración: Control y comunicación en seres vivos y máquinas. Especial hincapié hay que hacer aquí en el segundo y, el y entre seres vivos y máquinas, pues en lo que sigue se mostrará que las máquinas vienen siendo controladas por lo menos desde hace 200 años y que el desarrollo de una exacta técnica de control se remonta al menos a 60 años atrás. También en la biología era conocido antiguamente el fenómeno del control; era considerado, precisamente, como criterio de un organismo vivo. ALCMEÓN de Crotona, filósofo presocrático del siglo V antes de Cristo, dijo: "Cosa saludable es el equilibrio de las fuerzas, de lo húmedo y lo seco, lo frío y lo caliente, lo amargo y lo dulce, etcétera, y pernicioso, en cambio, el predominio de uno de ellos. Efectivamente, el predominio de uno de estos contrarios tendría efectos patógenos. Así se darían casos de enfermedad cuya causa sería debida al exceso o al defecto de alimento y que se localizarían bien en la sangre, bien en la médula o bien en el cerebro; ciertamente, también hay enfermedades debidas a causas externas, como son, por ejemplo, ciertas aguas, lugares, fatigas o dolores, etc. La salud reside más bien en la mezcla adecuada de las cualidades" (DIELS,

1906, pág. 104, párrafo 4 de los *Fragments*). La idea de que la salud sea equivalente a la mezcla adecuada de los humores del cuerpo y de las fuerzas que actúan sobre éste aparece reiteradamente en la historia de la medicina occidental hasta que, finalmente, desde C. BERNARD, este principio puede demostrarse con exactitud con datos fisiológicos.

Todo esto, sin embargo, no puede pretender ser cibernética. ¿Qué es lo específicamente nuevo de esta ciencia? El conocimiento de que el control y la comunicación en la máquina y el organismo vivo o en las estructuras sociales son formalmente idénticos y pueden ser descritos con los mismos medios matemáticos. En este sentido es en el que hay que entender el término de cibernética en el presente artículo. La sola técnica de control no puede llamarse aún cibernética, como tampoco puede darse tal nombre a la descripción de un ciclo biológico de control; sólo podrá hablarse de cibernética haciendo abstracción del sistema técnico o biológico y analizando el principio general de control y comunicación en los diversos sistemas.

Naturalmente, aquí se alza la objeción de que el ciclo de control es un elemento esencial de la cibernética, y de que ésta abarca más, como por ejemplo la teoría de la información,¹ la teoría del sistema, etc. El punto de partida decisivo de todos estos desarrollos fue, sin embargo, el relativamente sencillo principio del ciclo de control. Por eso este estudio debe limitarse esencialmente a indicar cuándo surgió este concepto y qué es lo que se entiende por él. Los ejemplos harán ver que en todas las especialidades se conocieron siempre procesos de control, entre los que se puede reconocer el principio general de control. Y, sin embargo, sólo a partir de 1940 se ha desarrollado una nueva ciencia.

En lo que sigue se tratará de dar respuesta a la tercera de las cuestiones propuestas al principio sobre qué pensamientos e ideas pueden considerarse como precursores de la cibernética, pero que no fueron desarrollados o bien cayeron en el olvido.

Desarrollo de la técnica de control

Un ciclo de control tiene una entrada, la magnitud objeto de control, y una salida, la magnitud controlada. Conforme a la definición, cada ciclo de control tiene un acoplamiento regenerativo: la salida reacciona sobre la entrada. En el caso más sencillo esta reacción es tal que la magnitud de salida está contenida en un valor previsto; pero éste, a su vez, también puede depender en alguna forma de una o varias magnitudes. Mediante el acoplamiento regenerativo se mide la diferencia entre el valor previsto y la magnitud real de salida, mientras que la de entrada varía de suerte que esta diferencia queda compensada. De esta forma se nivelan las oscilaciones de la magnitud de entrada e influencias perturbadoras que pueden afectar el sistema.

Uno de los reguladores más antiguos y más conocidos es el regulador

1. CHERRY (1951) da un resumen sobre la historia de la teoría de la información.

de fuerza centrífuga. El invento de este regulador suele atribuirse a James WATT. Sin embargo, el invento data de fecha anterior. Al mecanismo de que fue autor, WATT lo llamó "Whirling Regulator", y más tarde utilizó el concepto de "Governor". El regulador de fuerza centrífuga se usa para fijar en las máquinas el número de giros o bien controlar otras magnitudes en relación con ésta.

A partir, al menos, de 1750, en Inglaterra se empleó en los molinos un mecanismo que fija la distancia de las muelas entre sí en dependencia de la velocidad de giro. En 1787 y 1789 se dieron sendas patentes del mencionado mecanismo.

Patente n.º 1.628, del año 1787. "Thomas MEAD, de Sandwich, Kent. Un nuevo principio de regulador para una mejor recogida y un mejor despliegue de las velas de los molinos de viento sin necesidad de la constante vigilancia de un operario y para la molienda de maíz y otros cereales, así como para la preparación de harina y harina fina, cualitativamente mejor que la obtenida con el sistema actual, y para regulación, finalmente, para toda suerte de máquinas de arranque desigual."²

Patente n.º 1.706, del año 1789. "Stephen HOOPER, de Margate. Una máquina de reciente construcción para regulación de la fuerza y el movimiento de los molinos de viento y otros molinos, así como de la molienda y posterior elaboración y para regular cualesquiera otras máquinas cuyo arranque no sea constante."

En ambas patentes se describen reguladores de fuerza centrífuga y precisamente para regular el intervalo o espacio de separación entre las dos muelas, la cantidad de grano que se añade y la envergadura de las velas. La rueda del molino consiste en general en un bastidor de madera sobre el que se tensan las velas, las cuales a raíz de este invento pueden plegarse y desplegarse con independencia de la velocidad de rotación. Ambas patentes contenían la detallada ilustración propia del caso; probablemente fueron éstas las primeras representaciones de reguladores de fuerza centrífuga.

BOULTON, colaborador de WATT, escribió a éste (28 de mayo de 1788) acerca de una máquina moderna en la que "la presión o separación de la muela superior de la inferior se regula de forma que cuanto a mayor velocidad se mueve la máquina, tanto más firme o seguida es su manera de moler, y cuando la máquina se detiene, la muela superior se desplaza hacia arriba, y creo, por mi parte, que la principal ventaja de este invento es la sencillez de su puesta en marcha, porque la muela superior no puede presionar sobre la inferior hasta que el molino llega al número adecuado de revoluciones, lo que se consigue mediante la fuerza centrífuga de dos pesas de plomo que se retiran en sentido horizontal al moverse el molino y caen al disminuir el número de rotaciones; actúan sobre una palanca que tiene un apoyo de 30 a 1, si bien para explicar todo esto es necesario un dibujo" (BOULTON, 1788).

No fue, pues, WATT el inventor del regulador. Ni siquiera solicitó nunca una patente. De cartas a él dirigidas se desprende que ya entonces resul-

2. Si no se indica lo contrario, las traducciones son del autor.

taba imposible conocer al verdadero inventor del regulador. Ni MEAD y HOOPER, que obtuvieron sendas patentes, fueron tampoco los primeros en emplear este mecanismo. En colaboración con BOULTON, WATT construyó el regulador primeramente para máquinas de vapor, a fin de conseguir una marcha lo mejor posible independientemente de la carga. El regulador dio buen resultado y a partir de 1800 fue adoptado de manera general por los constructores de máquinas.

Según indicaciones de SOLODOWNIKOW (1959), en Rusia, en 1765, J. J. POLSUNOW dio noticias sobre un regulador de alimentación de calderas, que, obviamente, controlaba el nivel de agua de la caldera.

Sería sorprendente que los romanos no emplearan ya reguladores. Roma poseía un vasto sistema de canales de agua potable y aguas residuales; el Coliseo, por ejemplo, podía ser llenado de agua y de nuevo vaciado en muy poco tiempo cuando se representaban batallas navales. Por desgracia, sin embargo, no queda ningún diseño de construcción de las obras ni mecanismos de aquel tiempo, por lo que las reconstrucciones hechas no permiten sacar ninguna conclusión acerca de cómo trabajaban los mecanismos en detalle. Es imposible, hoy por hoy, atribuir a nadie en particular la invención del regulador. Los reguladores nacieron de unas necesidades prácticas y con diversos cometidos. Sólo mucho más tarde se conoció el principio de acción común a todos los mecanismos. De ahí que sólo se pueda decir con seguridad que los reguladores hicieron su aparición a partir de 1750 y con distintos fines, pero que con el desarrollo de la máquina de vapor, en las décadas siguientes, el regulador de velocidad dio pie a nuevos estudios sobre problemas de regulación.

Este desarrollo llevó en el siglo XIX al nacimiento de una técnica de regulación de base científica. Los principales factores fueron: el auge de la industrialización, la construcción de máquinas motrices cada vez mayores, el establecimiento de escuelas técnicas superiores, en las que la construcción de máquinas tenía una importancia esencial como disciplina de estudio y como objeto de investigación. Desde 1850, aproximadamente, existen manuales sobre construcción de máquinas en los que se trata detalladamente del problema del control de máquinas motrices. En todos estos libros se describen reguladores y se dan al propio tiempo datos empíricos sobre cómo hay que construir reguladores para que el sistema no incurra en oscilaciones indeseables (por ejemplo: J. FARCOT, 1873; F. GRASSHOFF, 1875-1890; A. LEDIEU, 1867; J. WISCHNEGRADSKI, 1877). Cuando había que construir un regulador para una máquina nueva, lo primero que se hacía era probarlo, y si pasaba la prueba, se aceptaba en la práctica.

J. C. MAXWELL fue el primero en tratar de comprender el problema del control. En 1868 publicó un trabajo que había presentado a la Royal Society de Londres. En dicho trabajo, el regulador era definido precisamente: "Una parte de la máquina mediante la cual la velocidad de ésta se mantiene más o menos constante, independientemente de una alteración de la fuerza de arranque o de la resistencia de la máquina" (MAXWELL, 1868, pág. 270).

Sigue describiendo pormenores técnicos y la dinámica de los reguladores:

“Puede verse que el movimiento de una máquina con su regulador consiste comúnmente en un movimiento uniforme, unido con un desajuste que puede expresarse como la suma de los diferentes movimientos parciales. Estos componentes pueden ser de cuatro clases distintas:

1. El desajuste aumenta de manera continuada;
2. Disminuye continuamente;
3. Puede ser una oscilación de amplitud en aumento continuo;
4. Puede ser una oscilación de amplitud en disminución continua.

Los casos primero y tercero no tienen, evidentemente, nada que ver con la estabilidad del movimiento. Sólo el segundo y el cuarto son admisibles en un buen regulador. Esta condición equivale matemáticamente a aquella otra de que todas las raíces reales y todas las partes reales de raíces complejas han de ser negativas a una ecuación determinada.

No fui capaz de establecer la condición para ecuaciones superiores al tercer grado; confío, sin embargo, que este campo habrá de atraer la atención de los matemáticos” (MAXWELL, 1868, págs. 271-272).

Sin descender a cuestiones técnicas de detalle, MAXWELL sigue desarrollando una teoría matemática de la dinámica de un regulador. Aquí logrará una ecuación de tercer grado cuyas soluciones contienen raíces. Mediante la descripción matemática, MAXWELL puede indicar el comportamiento del regulador. Si la parte real de la raíz es negativa, resulta una oscilación de amplitud en continua disminución; si la parte real de la raíz es cero, la amplitud permanecerá constante; pero si es positiva, la amplitud aumentará continuamente. En los dos primeros casos hay que considerar estable la dinámica del ciclo regulador, mientras que en el último caso tenemos una regulación inestable, toda vez que el ciclo regulador oscila.

HURWITZ (1895) dio una sencilla y útil solución del problema matemático de establecer las condiciones en que la ecuación indicada por MAXWELL no tiene más que raíces con partes reales negativas. Estas condiciones equivalen a criterios de estabilidad de un ciclo regulador. HURWITZ señala que su colega STODOLA, de la Escuela Técnica Superior de Zurich, aplicó con éxito este procedimiento cuando calculó la instalación de turbinas en Davos.

A partir de 1900 se suceden en gran número las publicaciones sobre los problemas teóricos y prácticos del control; ellas ponen los fundamentos esenciales para la técnica del control; para otros desarrollos y más detalles cabe remitir a obras más recientes sobre técnicas de control (por ejemplo GILLE et al., 1960; OPPELT, 1964; SOLODOWNIKOW, 1959).

El concepto de control en biología

Algunos ejemplos ilustrarán lo que en biología se entiende por control. En la introducción del presente artículo se hizo ya mención de ALCEMÓN de Crotona, según el cual la salud puede ser considerada como la mezcla adecuada y proporcionada de los humores del cuerpo. Esta concepción puede seguirse casi a través de todas las épocas en los 2.500 años de medicina occidental. Pero es sólo desde hace 150 años desde cuando estas

consideraciones, en otro tiempo de índole filosófica, sobre la esencia de la salud, de la enfermedad y de la vida pueden fundarse en datos fisiológicos y patofisiológicos. Se dan al respecto diversas conjeturas: BERNARD y PELÜGER describen el fenómeno del control sin ni siquiera hacer alusión a análogos técnicos, y BELL y HALDANE equiparan organismos y máquinas desde cierto punto de vista, destacan posibles cosas en común y subrayan diferencias de principios. Sólo DESCARTES —siguiendo las consecuencias de su filosofía— no puede hallar diferencias de principio entre el animal y la máquina.

En los dos primeros capítulos se subrayaron como esenciales dos notas características de la cibernética: el principio del ciclo de control y su análisis en seres vivos y en máquinas. En la bibliografía biológica antigua es posible hallar conjeturas en uno u otro sentido. No obstante, precisa proceder con prudencia al interpretar estos textos, ya que antes muchas palabras se usaban con una significación muy distinta a la que ahora se les da. Cuando los biólogos, por ejemplo, explican que un organismo se comporta como una máquina, su definición suele entenderse como la de una máquina. Una máquina puede considerarse desde diversos aspectos: el de su construcción, el del consumo de energía, el rendimiento, determinabilidad, complejidad, etc. Según cuál sea el *tertium comparationis* la comparación será naturalmente diferente. Además, hay que tener en cuenta si la comparación de los autores se hace sobre la base de máquinas construidas y en funcionamiento en su época, o bien quizá sólo con máquinas hipotéticas. En el análisis del ciclo biológico de control no faltan también ciertas dificultades técnicas de principio. En la técnica se conocen los elementos de un ciclo de control y el valor previsto. En organismos sólo es dable observar el resultado del control: el estado de equilibrio. Éste puede ser causado por:

1. Equilibrio en serie.
2. Conducción (cadena o malla graduada).
3. Control.

MITTELSTAEDT (1960, 1961) aduce procedimientos para distinguir claramente estos sistemas. La historia del control en biología muestra cómo este principio general del estado de equilibrio ha ido siendo analizado cada vez con mayor precisión hasta llegar por último a poder comprender cuantitativamente ciclos de control.

Para DESCARTES (1596-1650) era cosa obvia la posibilidad de construir máquinas capaces de imitar las funciones de los animales, pues estos mismos no son sino máquinas complicadas. El hombre se distingue de tales "autómatas" solamente por el hecho de estar dotado de razón. De DESCARTES no se tiene ninguna descripción precisa de máquinas, pero sí de organismos. Su obra *De homine* puede pasar por uno de los primeros tratados de fisiología. No trata explícitamente el problema del control, con todo y haber sido él el primero en señalar el principio de la inervación antagonica en el ejemplo de los músculos oculares (DESCARTES, 1643) y el primero asimismo que pretendió construir autómatas controlados, según se desprende de sus cartas (ROSENFELD, 1941). Fue, también, el primero que con toda

consecuencia comparó los organismos a máquinas, encontrando en el hombre una sola cosa que lo sitúa sobre la máquina, a saber, la razón.

En el capítulo quinto del tratado sobre el método (DESCARTES, 1637) compara las capacidades del hombre con autómatas o animales. Cree que para cada acción la máquina debe tener un programa especial o una "disposición especial de sus órganos". Sin embargo, un autómata sólo puede desarrollar un número limitado de tales programas, con lo que su capacidad de acción resulta limitada frente a la del hombre, dotado de razón (cf. cita en GRÜSSER, 1968). Aquí explica DESCARTES claramente lo que todavía hoy, a pesar de las más optimistas manifestaciones, sigue siendo un problema no resuelto. ¿Hay para los centros de cálculo electrónico un límite para imitar las funciones del sistema nervioso central?

Partiendo de las ciencias naturales, 250 años más tarde HERBERT SPENCER (1840-1903) trató de ordenar en una filosofía exhaustiva los fenómenos de la vida. SPENCER fue notablemente influido por C. DARWIN, quien en su obra *On the Origin of Species by means of Natural Selection* (1859) destacó la idea de la evolución mediante la selección natural. Esta idea SPENCER la plasmó en la concisa fórmula "Survival of the Fittest" (Supervivencia de los más aptos). En un intento de gran alcance quiso SPENCER construir un sistema de filosofía sintética. Sobre todo en sus obras *First Principles* y *Principles of Biology* (SPENCER, 1862; 1866) se dedica gran espacio a las consideraciones sobre los estados de equilibrio, adaptación y relación entre estructura y función. Según SPENCER el mundo se dirige al estado de entropía máxima; en el transcurso hasta el remoto estado final vuelven a presentarse nuevos estados de equilibrio. En su descripción de diversas clases de estado de equilibrio menciona, por ejemplo, la máquina de vapor, que se calienta por sí misma. Tales equilibrios en serie acostumbra llamarlos *equilibrium mobile*, para distinguirlos del estado de equilibrio final, el estado de entropía máxima.

En su extensa obra trata SPENCER de probar, con multitud de ejemplos de todo el ámbito de las ciencias, que los estados de equilibrio son condición previa para toda vida y toda evolución de las especies. Incluso en la naturaleza inanimada, como por ejemplo el sistema de los soles con las estrellas que giran alrededor de ellos, cree él haber hallado estados de equilibrio análogos. Define el equilibrio en serie como un sistema ("Aggregat") con oscilaciones en torno a un estado intermedio. Una cita ilustrará el curso de sus ideas: "El estado de las cosas, que se muestra en los ciclos de mutación en la tierra, en las funciones equilibradas de los cuerpos orgánicos que han alcanzado su forma adulta, y en los procesos de acción y reacción de sociedades plenamente desarrolladas, se caracteriza asimismo por oscilaciones compensadoras. Las combinaciones de ritmos que tienen lugar, apreciables en cualquiera de estos casos, muestran un estado intermedio que permanece más o menos constante durante las oscilaciones que se dan como contrapartida. Y lo que aquí hemos de tener en cuenta es que, como consecuencia inmediata de la ley general del equilibrio, cada agregado que de ella se desarrolla ha de sufrir cambios mientras no llegue a un estado de equilibrio en serie" (SPENCER, 1862, pág. 395).

El primer fisiólogo que utilizó modelos técnicos para explicar las funciones del cuerpo fue Sir Charles BELL (1774-1842), el cual trabajaba en Londres en calidad de fisiólogo, anatomista y cirujano. Antes que él, DESCARTES y LAMETTRIE hicieron comparaciones análogas, si bien sobre base especulativa, sin entrar en pormenores sobre las correspondencias fisiológicas con dos modelos.

Junto a su difundida obra *Anatomía y fisiología del cuerpo humano* (1797-1802) BELL publicó una breve obra titulada *Animal Mechanics, or, Proofs of Design in the Animal Frame* (Mecánica animal o ejemplos de construcción de cuerpos animales, 1827). En la primera parte de este trabajo describe los huesos, músculos y tendones con conceptos tomados de la mecánica y compara, por ejemplo, detalles de la estática del esqueleto con la construcción de una iglesia gótica. En la segunda parte se describen el corazón y la circulación según leyes hidrodinámicas. También aquí se representan modelos técnicos y se aducen como comparación. BELL pone de relieve que las construcciones de animales y personas sólo pueden entenderse en relación con su medio. Muestra cómo los materiales del cuerpo están sometidos a una continua reconstrucción, cómo los distintos órganos muestran actividad espontánea y cuán importante es la adecuada armonía, la organización de todo el cuerpo. A este respecto BELL no fue sólo un destacado experimentador, sino que vio también claramente las limitaciones del método de sus investigaciones: "Una vez hemos admirado las conexiones entre las distintas partes u órganos, según es manifiesto mediante la comparación con máquinas, podríamos ir más lejos y decir que la estructura material y las relaciones mecánicas se hallan con exactitud y perfección todavía mayores en los tejidos más finos del cuerpo; yendo aún más lejos, podríamos llamar a esto organización y concluir erróneamente que de la organización nace la vida. Precisamente el concepto de organización es equívoco, pues implica algo construido en lo que una parte colabora con otra, pero nada más. Observando el cuerpo como algo completo, acabado en sí, indudablemente se tendrán ejemplos de tal colaboración, pero sería en vano buscar en ello la explicación de la vida, pues ésta existe en sustancias simples e inestructuradas en las que no se da ninguna construcción ni relación" (BELL, 1827, pág. 451).

Es interesante que BELL niegue la organización como principio esencial de un organismo, si bien admite que las partes entre las que él ha encontrado semejantes relaciones no están estructuradas ni organizadas en sí mismas, aun cuando dan señales de vida. Éste sería un punto que más tarde habrían de defender los vitalistas, quienes, aun reconociendo la importancia de la organización y la estructuración, seguirían suponiendo una fuerza vital especial que distinga la materia animada de la inanimada. BELL no va tan lejos, antes al contrario se acerca a un punto de vista positivista cuando, como se verá en la cita siguiente, sólo quiere limitarse a describir fenómenos vitales, no interpretar cosas sobre las que no hay suficientes datos de investigación. Con los métodos científicos de entonces no le fue posible conocer la estructura de la célula y sus distintos materiales. Solamente conocía las relaciones mutuas de los elementos macroscópicamente visibles, con lo que

resulta consecuente por su parte decir que esta organización es muy conveniente, pero sostener que con ella queda explicada la vida, es sencillamente antifilosófico y anticientífico.

“Una cosa es la construcción mecánica del cuerpo, y podemos admirarla por el hecho de ser más inteligible merced a la comparación con nuestras propias creaciones; otra cosa completamente distinta es la combinación de las propiedades vivas. Con esto llegamos al límite del problema filosófico. Hasta aquí todo fue lisonjero para el orgullo de la criatura, pero ahora debemos aceptar con la mayor sumisión los inescrutables caminos del Creador y dejar de pretender averiguar el origen de la vida; de manera semejante a como hacemos con la gravitación, deberíamos dedicarnos a observar sus regularidades, no a investigar su origen” (BELL, 1827, pág. 48).

BELL aduce creaciones técnicas como modelos por los que explicar ciertas peculiaridades del cuerpo humano, y advierte contra la creencia de que la vida se entendería mejor si se representara en modelo como función parcial. Su pretensión de describir la regularidad de los fenómenos sin investigar su origen o su esencia se remonta a GALILEO GALILEI, fundador de las ciencias naturales en la era moderna.

Las primeras investigaciones fisiológicas sobre los estados de equilibrio se deben a Claude BERNARD (1813-1878). Fue discípulo de MAGENDIE y ejerció como profesor de fisiología en todo el campo de la fisiología y medicina experimental en el Collège de France, en París. Estudió principalmente el metabolismo: demostró que el azúcar se forma en el hígado, condujo la “punta de azúcar” hasta el cerebro y fue autor de importantes trabajos sobre fisiología de la digestión, de la economía calórica y del sistema nervioso vegetativo. Su extensa obra se han transmitido en forma de cursos manuscritos. Sus ideas las expone en la forma más generalizada en su última obra, *Leçons sur les phénomènes de la vie communs aux animaux et aux végétaux* (Lecciones sobre los fenómenos de la vida comunes a animales y vegetales, 1878).

“La constancia del ‘milieu intérieur’ es la condición previa de una vida libre e independiente: el mecanismo que hace esto posible garantiza en el organismo el mantenimiento de todas las condiciones necesarias para la vida. Puede así entenderse que para los organismos simples (êtres simples), cuyas partes constituyentes están en contacto directo con el medio ambiente (milieu cosmique), no hay vida libre e independiente, y que esta forma de vida conviene exclusivamente a organismos que han llegado a la cima de la complejidad y de la diferenciación orgánica. La constancia del ‘milieu intérieur’ presupone tal perfección del organismo a fin de que en cada momento sean compensadas y niveladas las variaciones que se den en el medio ambiente. De ello se sigue que un organismo altamente desarrollado está muy lejos de carecer de reacciones frente a su medio. Por el contrario, se halla en estrecha relación con él, de suerte que su equilibrio tiene lugar mediante una constante compensación que trabaja como la más sensible de las balanzas” (BERNARD, 1878, pág. 113).

Aquí se pone de relieve cómo los distintos órganos de un organismo complejo sólo pueden cumplir su función cuando el medio ambiente ofrece

las condiciones adecuadas. BERNARD subraya aquí un importante aspecto del control, a saber, no la causa, sino el efecto del control, el estado de equilibrio. Aquí resulta también claro el punto de incidencia de BELL, que, para conocer los distintos elementos y sus relaciones entre sí, trata de respresentarlos en un modelo.

Más lejos fue Eduard PFLÜGER (1829-1910), que, admitiendo el control, dedujo como condición necesaria una ley natural común. Fue desde 1859 profesor de fisiología en Bonn. Sus investigaciones se extienden a todo el campo de la fisiología y de la química fisiológica. En el "Archiv für die gesamte Physiologie der Menschen und der Thiere", que actualmente aparece con el título de "Pflügers Archiv, European Journal of Physiology", publicó en 1877 el artículo: *Die teleologische Mechanik der Natur* (Mecánica teleológica de la naturaleza), en el que formuló la "ley causal teleológica": "La causa de toda necesidad de una esencia viva es al propio tiempo la causa de la satisfacción de la necesidad" (PFLÜGER, 1877, pág. 76).

PFLÜGER ilustra esta ley, entre otras cosas, con los diversos controles de la dilatación pupilar. Si un intenso rayo luminoso se dirigiera directamente a la retina sin iluminar al mismo tiempo el iris, la pupila no se contraería. Hoy diríamos que la incidencia lumínica es dirigida a la retina, pues no existe acoplamiento regenerativo. Si esta mecánica tuviera que controlar la incidencia de la luz, sería que no estaría adecuadamente construida, pues sería fácilmente perturbable. Además, el iris y la retina no se adaptarían, es decir, a igual incidencia luminosa se daría siempre igual respuesta de excitación. PFLÜGER escribe al respecto: "Parece por tanto imposible que dos especies de materia cualitativamente distintas, como la retina y la sustancia contráctil, expuesta a la excitación lumínica, que circunda la pupila ofrezcan en toda circunstancia, con la misma intensidad luminosa, idéntica proporción de intensidad de excitación. En otras palabras: en uno y otro tejidos las excitabilidades deberían variar siempre en el mismo sentido correspondiente, lo cual exigiría una armonía inalterable, lo que en la naturaleza no puede darse en procesos mutuamente independientes" (PFLÜGER, 1877, pág. 78).

Demuestra que la naturaleza ha hallado una solución esencialmente mejor: en la mayoría de los ojos la incidencia luminosa sobre la retina regula la dilatación pupilar; aquí hay, pues, acoplamiento regenerativo. Esto lo formula PFLÜGER de la siguiente manera: "La *necesidad* es aquí propiamente el adecuado grado de excitación del nervio óptico, que sea lo más adecuado posible a la intensidad de la percepción. La excitación misma del nervio óptico es la que debe regular la dilatación de la pupila. Vemos, pues, que el más intenso rayo de sol deja inmóvil la pupila cuando el nervio óptico está ciego, mientras que en condiciones normales toda excitación del mismo provoca la correspondiente contracción pupilar" (PFLÜGER, 1877, pág. 78). En este artículo se aducen otros muchos ejemplos destinados a documentar la validez general de esta "ley causal teleológica". Aquí se subraya un nuevo aspecto del control, a saber, el teleológico. En circuitos de control existe siempre un valor previsible; éste ha de ser incorporado a la máquina por el hombre, toda vez que las máquinas se construyen para un fin determinado. En funciones de organismos el fin es cuestión de la inter-

pretación. Desde un punto de vista teleológico se admite como organismo un comportamiento dirigido a un fin, pudiendo por tanto hablarse de un valor previsible.

La cuestión objeto de debate a principios del presente siglo no era la del fenómeno del control, sino más bien si el control, la equifinalidad o la adaptación eran mecanismos de cuya explicación hubiera que hacer responsable a un factor especial propio sólo de la materia animada. Esto condujo a la escisión de los naturalistas en vitalistas y mecanicistas. Entre los primeros, uno de los más celosos partidarios fue Hans Adolf DRIESCH (1867-1941). Primeramente alumno de HÆCKEL, fueron más tarde sus profesores G. WOLFF y W. ROUX. En su obra publicada en 1901, *Die organischen Regulationen, Vorbereitungen zu einer Theorie des Lebens* (Las regulaciones orgánicas, preparación para una teoría de la vida), escribe: "La regulación es un proceso que tiene lugar en el organismo vivo, o la alteración de tal proceso, mediante el cual o mediante la cual cualquier trastorno de un estado 'normal' preexistente es compensado total o parcialmente, de forma directa o indirecta, con lo que se restablece el estado normal o al menos una aproximación al mismo" (DRIESCH, 1901, pág. 92, en el original subrayado).

DRIESCH distingue entre regulaciones organizadoras y adaptativas. Por regulaciones organizatorias entiende aquellos procesos estrechamente relacionados con el crecimiento, la regeneración y la restitución. Por regulaciones adaptativas o regulaciones funcionales entiende los procesos que hoy denominaríamos procesos de acoplamiento regenerativo. Sus definiciones no son muy delimitadas, sino que más bien son descripciones de circunstancias complementadas con multitud de ejemplos.

J. S. HALDANE (1860-1936) trató de solucionar este conflicto entre vitalistas y mecanicistas. Fue desde 1921 profesor de fisiología en Birmingham y estudió el mecanismo de la respiración, especialmente la función del dióxido de carbono. En sus artículos y libros siguió el método y el fondo filosófico de la investigación biológica. Rechazó el vitalismo, que para él no significaba más que un desplazamiento del problema hacia el protoplasma o la "fuerza vital". Elogió las ideas mecanicistas, las cuales mediante su modo de plantear el problema participaban considerablemente en el desarrollo de la fisiología científica; sin embargo, al propio tiempo reconoció que el simple planteamiento mecanicista no era suficiente. Si se estudia el mecanismo de la respiración y se descuida considerar para qué se respira y cómo la respiración se realiza en relación con todas las restantes funciones corporales, se habrá olvidado lo esencial, el aspecto teleológico.

En los resultados de sus investigaciones HALDANE subrayó siempre la función del control. Describió cómo en la respiración las diferentes magnitudes dependen unas de otras y dónde ha de localizarse el mecanismo del control. Para deslindar su punto de vista teleológico del de los mecanicistas, escribió al final de un artículo: "He procurado mostrar la necesidad de admitir que el organismo vivo es un organismo y no una máquina" (HALDANE, 1906).

HALDANE era pragmático al escribir que la prueba definitiva para cual-

quier hipótesis científica es su utilidad. No deja de ser interesante el hecho de que en la investigación fisiológica hiciera hincapié en el aspecto teleológico, de análoga manera a como lo hicieron PFLÜGER, antes que él, y ROSENBLUETH, WIENER y BICELOW (1943), después. Si, no obstante, aseguró categóricamente que el organismo vivo no es una máquina, fue probablemente porque, a diferencia de ROSENBLUETH y otros (1943), por máquinas entendía meras máquinas motrices.

Jacob VON UEXKÜLL (1864-1944) se ocupó, en su calidad de zoólogo, del comportamiento de los animales en su ambiente natural. Trató de desarrollar una teoría de la biología que se distinguiera claramente de las concepciones mecanicistas, sin incurrir, sin embargo, en las ideas vitalistas. Subrayó que a los animales hay que considerarlos en el círculo de su ambiente, con el que forman una unidad biológica. Todas las acciones de los animales están relacionadas con el medio y repercuten en ellos mismos. UEXKÜLL acuñó a este respecto el concepto de ciclo funcional. Este consta del receptor (órgano sensorial), del órgano perceptor (la parte aferente o sensoria del sistema nervioso), del órgano motor (la parte eferente o motora del sistema nervioso) y del efecto (músculos). Una acción intencional es ejecutada por el efector y tiene una doble repercusión sobre el órgano perceptor: sobre el portador de la señal (el medio, el cual cambia específicamente con la acción) y sobre un informe retrospectivo dentro del sistema nervioso, mediante el cual es controlada la acción de los efectores (fig. 1).

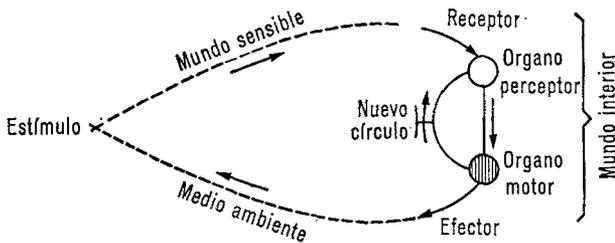


FIG. 1. — (UEXKÜLL, 1920), véase explicación en el texto.

No todas las acciones son controladas de esta manera. En otro esquema se expondrán todas las posibilidades de una acción controlada (fig. 2; UEXKÜLL, 1920). "Para apreciar estas complicadas relaciones conviene someter todo el esquema gráfico del mecanismo de control a una sencilla acción controlada. (a) Es el esquema del mecanismo de control según he indicado al hablar del ciclo funcional. (b) Es el esquema del mecanismo de control cuando se da una acción controlada, en la que el efecto de los efectores sobre los receptores tiene lugar fuera del cuerpo, como cuando uno escucha su propia canción. Harto a menudo el control tiene lugar dentro del cuerpo, y entonces hay que distinguir dos casos: o el movimiento de los músculos efectores es percibido por nervios particularmente sensibles, como muestra el esquema adjunto (c). O el estímulo transmitido a los nervios efectores por receptores centrales especiales es captado en parte y conducido

al órgano perceptor (d). Estos receptores forman el órgano sensorial de HELMHOLTZ, que desde el punto de vista anatómico está todavía sin explicar. En el hombre se dan las tres clases de controles receptores; así el hombre tiene la facultad de controlar sus movimientos en primer lugar mediante la vista o el órgano del tacto, en segundo lugar mediante la sensibilidad

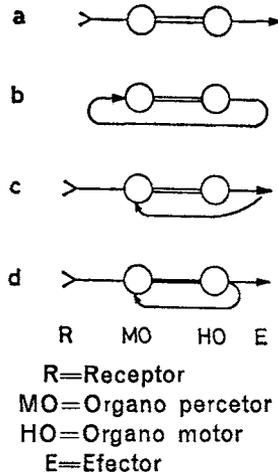


FIG. 2. — (UEXKÜLL, 1920), véase explicación en el texto.

muscular y en tercer lugar mediante señales de dirección. El desconocimiento de las relaciones de los receptores centrales me impide abordar su relación con el órgano de la orientación en los canales semicirculares" (UEXKÜLL, 1920, pág. 201).

A. BETHE (1872-1954) estuvo en estrecho contacto amistoso y científico con UEXKÜLL. Se ocupó de los procesos rítmicos que producen en el corazón la locomoción y en general todos los trabajos que se repiten de modo uniforme. Toda vez que en el sustrato biológico no todos los parámetros son variables como sería de desear, utilizó como modelo un circuito oscilatorio eléctrico (una forma especial del acoplamiento regenerativo eléctrico). En éste pretendió probar todas las condiciones posibles. Dado que los fenómenos que tuvieron lugar en el circuito oscilatorio eléctrico y en el sustrato biológico fueron idénticos, concluyó que dichos fenómenos tienen el mismo mecanismo de origen. Aquí se empleó por primera vez un sistema técnico como modelo comparativo para un proceso biológico, harto complejo para poder ser estudiado en todas sus particularidades.

Discípulo de BETHE fue Erich von HOLST (1908-1962), quien en 1950, junto con H. MITTELSTAEDT, publicó un trabajo que circunscribía el ciclo funcional de UEXKÜLL, si bien lo explicaba con mayor precisión. Además, sus ejemplos estaban basados en datos cuantitativos exactos tomados de experimentos en animales (véase fig. 3). "Consideremos un centro Z_1 cualquiera que provea motórica y sensorialmente a un efector EFF. Este efector puede ser un músculo, un miembro o todo el cuerpo. Este centro Z_1

está subordinado a uno o varios centros Z_2 hasta Z_n . Cualquier orden K de Z_n —es decir, una *alteración* de la corriente de impulsión descendente hacia Z_1 —origina una secuencia de impulsión eferente E , origen a su vez de una alteración de actividad, estrechamente coordinada a ella, que se

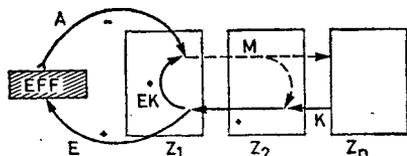


FIG. 3.—(v. HOLST y MITTELSTAEDT, 1950), véase explicación en el texto.

extiende con determinados retrasos periódicos en la masa ganglionar vecina, la copia eferente EK . La corriente eferente E que fluye a la periferia produce sobre el efector la correspondiente reaferencia A , que entra en acción recíproca con la copia eferente. Aquí señalaremos la eferencia y su copia con el signo más (+) y la reaferencia con el signo menos (—). La copia eferente y la reaferencia se interrumpen recíprocamente en Z_1 : la orden procedente de Z_n brota sin obstáculo como eferencia. Tan pronto como, debido a cualquier *influencia externa* en el efector, toda la aferencia deviene o demasiado grande o demasiado pequeña, en Z_1 queda un resto + o —. *Este resto sigue adelante*—a veces, según veremos, hasta los centros más altos—; lo denominaremos un *informe M*. El informe ascendente puede —pero *no debe*—tener en su camino a Z_2 una derivación y formar allí una suma con la orden descendente K . En este caso el sistema Z_2 para abajo se mantendrá en equilibrio; se convertirá en un *sistema regular* de los técnicos” (VON HOLST y MITTELSTAEDT, 1950, pág. 467).

En 1925 el fisiólogo Richard WAGNER publicó dos trabajos “Sobre la colaboración de los antagonistas en el movimiento arbitrario”. En ellos se trata de la cuestión de si en un movimiento arbitrario los flexores y tensores son activados simultáneamente, aunque en medida distinta, o no simultáneamente. Con esto se halla vinculada la cuestión de cómo un músculo regula su estado de tensión (tono). Sobre este sistema escribe WAGNER (1925, pág. 87): “Un mecanismo como éste podría compararse ante todo con un *acoplamiento regenerativo* de las células córneas anteriores. Este acoplamiento regenerativo es entonces variable con la tensión de los cuerpos sensibles terminales. Si la tensión aumenta, es más compacto; si disminuye, más inconsistente”.

Sin que ello pretenda disminuir los méritos de WAGNER, hay que señalar que ésta y otras comparaciones no constituyen la idea central de este trabajo. WAGNER reconoció que aquí hay un mecanismo de acoplamiento regenerativo y lo describió cualitativamente. No se intentó, sin embargo, ni se tuvo en cuenta describir un ciclo de control biológico como equivalente a un ciclo de control técnico, ni exponer este mecanismo formalmente como principio de validez general del control. Este hecho se subraya aquí únicamente porque en años pasados reinó cierto desacuerdo acerca de la apreciación de estos trabajos en relación con el desarrollo de la cibernética.

La incertidumbre desapareció definitivamente a raíz de conocerse la correspondencia entre WAGNER y Hermann SCHMIDT (SCHMIDT, 1967, pág. 125). En dicha correspondencia WAGNER confirma que en 1925 él no pensaba en el posible paralelismo de los ciclos de control entre sistemas biológicos y técnicos, y que el desarrollo de la cibernética empezaba en un momento considerablemente posterior.

Después de 1920 la biología experimental se había desarrollado en tal grado, que cada vez y por distintos autores se describían, y en lo posible se comprendían cuantitativamente, nuevos procesos de control. Merecen ser destacados especialmente HENDERSON (1928), que analizó la regulación de las concentraciones de gases de la sangre, y ADOLPH (1943), que estudió cuantitativamente la economía de agua y electrolitos. Un primer resumen sobre el control en la biología se debe a CANNON (1929), quien en 1926 introdujo el término de homeostasia en la caracterización de los estados de equilibrio. Una recopilación detallada de la literatura antigua sobre control se encuentra en ADOLPH (1961), y de los trabajos recientes y más teóricos, en BERTALANFFY (1953).

Los ejemplos citados deberían mostrar que no hay tal desarrollo, que el concepto de control se desarrolló construyendo sobre trabajos antiguos. Se demuestra más bien que los distintos autores consideraron respectivamente distintos aspectos del control. Con la implantación de técnicas experimentales mejores se precisó y delimitó el concepto de control. Estos autores se han citado aquí porque cada uno aplicó un aspecto parcial importante de la cibernética; el paralelo directo entre ciclos de control biológicos y técnicos y el formalismo matemático existente entre los mismos no fue, sin embargo, admitido por los biólogos.

Cibernética. Control y comunicación en seres vivientes y máquinas

Fue probablemente Félix LINCKE (1840-1917, profesor ordinario de ingeniería en la Escuela Superior Politécnica, y posteriormente en la Escuela Técnica Superior de Darmstadt) el primero que tuvo en cuenta las importantes reflexiones que más tarde indujeron a SCHMIDT a su formulación de una "teoría general del ciclo de control", y a WIENER a acuñar el concepto de cibernética.

LINCKE reconoció el mismo principio de los procesos de control en máquinas y organismos vivos, y ello por medio de ejemplos detallada y claramente ilustrados. Las citas de LINCKE que se harán a continuación están tomadas de una conferencia que fue publicada por primera vez en VDI-Nachrichten (LINCKE, 1879). En este artículo se describirán e ilustrarán sistemáticamente las clases de reguladores entonces conocidas. "El hombre en su significación de máquina", reza el título de un capítulo en el que se describe el movimiento del brazo como un ejemplo de control.

"Los órganos de un regulador completo son:

1. El *indicador*, es decir, el dispositivo que va indicando de modo

continuo la medida de las magnitudes objeto de control o de sus alteraciones.

2. El órgano ejecutivo, el *modificador* o moderador (presa, válvula moderadora), cuyo movimiento condiciona inmediata o mediatamente un cambio correspondiente de la magnitud variable.

3. El *transmisor*, para establecer las relaciones requeridas entre el movimiento del indicador y el del modificador, en el que el

4. motor, ha de realizar el trabajo mecánico. El motor no siempre se presenta como máquina especial; así, por lo general, en los reguladores de velocidad de máquinas motrices se emplean estas mismas como función de regularización. El conjunto de estos órganos constituye el regulador. Dichos órganos son absolutamente necesarios y siempre comprobables" (LINCKE, 1879, págs. 589).

"La diferencia entre actuación arbitraria y el trabajo mecánico es tan sólo cuantitativa en el grado de seguridad de función de los órganos necesarios, cuya combinación, aquí como allí, es la misma, pero en la máquina logra su expresión categórica previniendo cualquier avería" (LINCKE, 1879, pág. 602).

(Cf. fig. 4) "En el cuerpo humano en su significación de máquina hay que distinguir:

1. el mecanismo: el esqueleto con los músculos;
2. la disposición motora: los órganos de la nutrición;

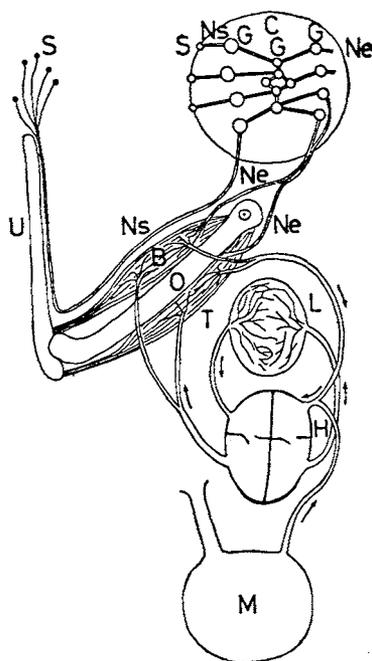


FIG. 4. — (LINCKE, 1879) "La significación de las letras en esta figura es la siguiente: O brazo, U antebrazo, B flexor del antebrazo, T tensor del antebrazo, M estómago, H corazón, L pulmón, S terminaciones nerviosas sensibles (por ejemplo, en la mano, corpúsculos del tacto; en el ojo, los bastoncitos y conos de la retina; en el oído las terminaciones nerviosas, etc.). Ns nervios sensitivos o motores, C cerebro, compuesto por células ganglionares y fibras nerviosas" (LINCKE, 1879, pág. 603).

3. la dirección indicadora: los nervios volitivos;
4. la dirección de informe: los nervios sensitivos.

Como miembro intermedio entre los nervios sensitivos y los nervios volitivos se halla el cerebro.

Para explicar la relación de estos órganos formados en sistemas complejos se ha elegido como ejemplo la máquina que sirve para mover el antebrazo, y en la fig. 4 se da una representación esquemática de la organización mecánica del hombre, en cuanto entra aquí en consideración.

Puesto que los músculos sólo sirven como órganos de tracción y sólo pueden actuar mediante contracción, para cada sentido o dirección de movimiento se requiere un músculo especial, es decir, un haz de fibras musculares; así, en la flexión del brazo, es decir, en el movimiento hacia delante del antebrazo, interviene el flexor B, y en el movimiento contrario el tensor T. Su manifiesto engrosamiento al contraerse es claramente visible" (LINCKE, 1879, pág. 603-604).

"Asimismo observamos, no obstante, el movimiento provocado por nosotros, es decir, los estímulos ejercidos sobre las terminaciones sensibles de los nervios por los cambios de nuestras relaciones con el entorno son dirigidos al cerebro por los nervios sensitivos y hechos conscientes. Con el movimiento producido por nuestra máquina y las manifestaciones que lo acompañan, ver, oír, sentir, etc., estamos en condiciones de armonizar nuestras acciones con la medida de nuestros propósitos, así como de modificarlo o interrumpirlo en cualquier momento dado" (LINCKE, 1879, pág. 604-605).

Si tratamos de seguir los fenómenos que tienen lugar en la parte central del cerebro entre los ganglios de entrada de los nervios sensitivos Gs y los ganglios de salida de los nervios volitivos Ge sabemos al menos que la actividad conductora con la que contradirigimos al objetivo nuestra máquina humana procede siempre de la diferencia entre la voluntad y la realidad observada o imaginada, es decir, de la diferencia entre la indicación y el informe de la ejecución. Añadida al sistema de la máquina esta parte de las funciones intelectuales como miembro ciego, las direcciones conductoras, ejecutoras e informativas se unen en una cadena cerrada cuya acción coincide con la del relais en cuanto que la indicación introducida en nosotros y por nosotros en otro lugar del sistema cerrado, en el mecanismo de cambio, condiciona una entrada de fuerza motriz correspondiente.

Quedaría, finalmente, la formación de la idea y su transformación en intención, es decir, en orden dictatorial interna y propia, cuyo contenido, semejante al dictado de nuestros dictadores, es el de la información pero convertivo en voluntad. Así, nuestra fuerza conductora se representa como la diferencia entre lo ideal que vive en nosotros y lo real. Sin embargo, con esto entramos en el terreno de la psicología y dejamos el de la máquina" (LINCKE, 1879, pág. 607-608).

La mayor parte de este trabajo la ocupa el debate sobre el estado técnico de los reguladores: se describen detalles técnicos y pruebas prácticas. LINCKE trató siempre de ampliar las consideraciones especiales y llegar a consecuencias generales. Describe, por ejemplo, una máquina para cuyo servicio un

hombre ha de regular todavía la diferencia entre "valor previsto" y "valor efectivo", y propone reemplazar a este hombre por un automático.

Eliminemos incluso nuestra mano indicadora, que ha llegado a dominar vastos complejos mecánicos, confiemos a un mecanismo de relojería la indicación previamente determinada y físicamente expresada (por ejemplo mediante trazado de curvas), o sigamos la indicación mecánicamente a través de la suma de influencias que, imprevisiblemente cambiantes en tiempo y medida, son almacenadas, transmitidas, combinadas y resueltas por la máquina, y así llegamos a la *automática*, la separación total de la máquina y el hombre, pero al mismo tiempo nos encontramos ante el enorme e insalvable abismo entre el trabajo mecánico realizado sólo según determinadas funciones, y la actividad del hombre, que en lucha permanente con el mundo exterior, tiende a metas ideales" (LINCKE, 1879, pág. 610).

LINCKE también conocía ya la importancia del estímulo restante. Esto quiere decir que un control (en reguladores proporcionales) solamente funciona en tanto no se compense un desajuste absoluto. Si un desajuste se compensa totalmente quedaría eliminada la causa de la contrarregulación. La regulación, pues, "siempre es sólo aproximada, ya que sin una diferencia entre la proporción real de las dos magnitudes y la proporción prescrita de las mismas es causa de la variación apropiada de las variables dependientes, es decir, la auténtica regulación no sería posible" (LINCKE, 1879, pág. 589).

El artículo concluye con una consideración general de la técnica. Se señalan las siguientes frases: herramientas, máquina motriz, máquina automática. Aquí se alude a lo que más tarde SCHMIDT llamó objetivación del ciclo laboral humano y consumación de la técnica.

Por lo que se sabe, LINCKE fue el primero en describir comparativamente el principio general del control en la máquina y en el organismo viviente. Por otra parte, fue él, asimismo, quien señaló la importancia general del ciclo de control para el desarrollo de la técnica.

LINCKE publicó sus ideas hace casi cien años, en la VDI-Zeitschrift y como separata (LINCKE, 1880). Sin embargo, con el tiempo cayeron en el olvido. Ni siquiera sobre su persona dicen nada las enciclopedias ni los libros de historia de la técnica. Cincuenta años después de su muerte, los registros no dan más noticias sobre él que las fechas de su nacimiento y de su muerte.

Las ideas de LINCKE no fueron desarrolladas evidentemente porque la propia teoría del control estaba aún tan escasamente desarrollada, que la descripción con términos técnicos de un proceso de control en un organismo no habría reportado ninguna utilidad práctica. Además, desde el punto de vista cualitativo, la investigación biológica era todavía predominantemente descriptiva, y eran más bien escasos los datos cuantitativos de que se disponía; en todo caso, siempre procedían de sencillos experimentos, de forma que no se dependía en la medida que hoy de disciplinas técnicas o de las matemáticas como ciencia auxiliar para lograr una solución de complejos problemas biológicos.

En general, el comienzo del desarrollo de la cibernética se sitúa hacia 1948, cuando apareció la obra de WIENER '*Cybernetics*'. Sin embargo, los

verdaderos inicios de la cibernética se remontan a fecha anterior, y hubo incluso dos desarrollos completamente independientes entre sí, debidos a otros tantos científicos: en Estados Unidos, Norbert WIENER, y en Alemania, Hermann SCHMIDT.

Hermann SCHMIDT (1894-1968), recibido en 1929 en el cuerpo docente de la Escuela Técnica Superior de Aquisgrán como profesor de Física Técnica, fue desde 1938 profesor de Técnica de Control en la Escuela Técnica Superior de Berlín-Charlottenburg y miembro de la oficina de patentes del Reich. En 1939 fundó el Comité especialista de Técnica de Control de la sociedad de Ingenieros Alemanes. En 1944 se creó en la Escuela Técnica Superior de Berlín-Charlottenburg la primera cátedra de Técnica de Control, para la que fue designado SCHMIDT.

Partiendo de la técnica, se ocupó de la cuestión de la existencia humana. La halló contestada en la filosofía y en la antropología, de suerte que el hombre viene a ser el animal embrionario que sólo por su propia fuerza llega a la individuación. La cuestión de en qué consiste esta individuación la contesta la tradición y la cultura. La técnica quedó aquí extrañamente al margen. SCHMIDT creía que a esta cuestión sólo podría responderse cuando se analizara el desarrollo de la técnica y las relaciones del hombre con ella. Vio el desarrollo de la técnica en tres estadios: "1) el de la herramienta, 2) el de las máquinas motrices y los motores, y 3) el del sistema de control, el autómata. Cada nuevo estadio comprendía el anterior y le añadía algo, y el último estadio comprendía todo el proceso de la técnica. Tomemos como ejemplo para este desarrollo la solución técnica del vuelo. En el primer estadio, el hombre se construyó un instrumento para volar, las alas de Dédalo y de Icaro. El consumo de energía necesaria para volar, así como el esfuerzo intelectual para mantener el equilibrio y un rumbo determinado es asunto exclusivamente del sujeto; sólo es objeto el instrumento, el cual cumple su cometido sólo con la ayuda del hombre. En el segundo estadio, el avión automóvil, también está objetivada la fuerza para volar; el grado de eficacia es aumentado por el objeto técnico. En el tercer estadio de avión automóvil autogobernado y estabilizado todo el esfuerzo del sujeto está objetivado; el cometido del vuelo es cumplido totalmente por el avión autodirigido y estabilizado, y el sujeto está por completo al margen del ámbito de los medios necesarios para el cumplimiento del fin propuesto. El objetivo técnico es absoluto, pues cumple el cometido impuesto sin intervención del sujeto. Así, la técnica de control que cierra la acción de objetivación es la perfección metódica de la técnica.

Precisamente en el primer estadio del perfeccionamiento técnico descubre la técnica un problema en el control, problema con el que ella, manifestación de vida, demuestra su afinidad con el problema fundamental de la vida, que se llama asimismo control" (SCHMIDT, 1941, pág. 87).

De ello se deduce claramente que para SCHMIDT el control, el tercer estadio en su división del desarrollo de la técnica, es un problema general y fundamental, importante en igual medida para organismos vivos y para estructuras sociológicas. Para él resultaba igualmente clara la consecuencia sociopolítica, a saber, que en el tercer estadio, el estadio de los autómatas,

el hombre puede ser liberado del trabajo en serie. Mientras en el segundo estadio de la técnica constituye un elemento cuasimecánico, la automatización puede traerle la liberación de este trabajo mecánico. Resumiendo, y apoyándonos en unas palabras de GALILEO GALILEI, todo esto viene a concluir en la siguiente exigencia: "Controlar todo lo controlable, y lo no controlable, hacerlo controlable" (SCHMIDT, 1941, pág. 87).

Ya en 1940 se celebró una asamblea general con los fisiólogos berlineses para discutir problemas generales de control (las conferencias pronunciadas entonces por H. SCHMIDT, W. TRENDLENBURG, G. WÜNSCHT, K. KRAMER y K. M. DOLEZALEK se publicaron en VDI-Zeitschrift, 85, 1941). En la conferencia pronunciada por SCHMIDT ("Técnica de control; la función técnica y su repercusión económica, sociopolítica y políticsocultural"), así como en la memoria de la fundación de un instituto de técnica de control (SCHMIDT, 1941) se contienen todas las ideas esenciales de una teoría general del ciclo de control. La guerra y la postguerra, sin embargo, paralizaron estos inicios y llegaron casi a relegarlos al olvido.

El concepto de "teoría general del ciclo de control" acuñado por SCHMIDT es casi idéntico al de "cibernética" introducido por WIENER. Con todo, los desarrollos en Estados Unidos y Alemania transcurrieron completamente independientes. Fundamentalmente distinto fue asimismo el comienzo que condujo al desarrollo de estas ciencias. La actitud de WIENER fue predominantemente pragmática. Él quería solucionar problemas técnicos y matemáticos. WIENER trató de caracterizar la diferencia y la oposición entre una máquina y el hombre, mientras SCHMIDT consideraba a la máquina como parte constituyente necesaria y prolongación del ciclo de actividad humana y partió de la unidad hombre-máquina. SCHMIDT, que en su calidad de técnico se dedicó a la antropología, se vio enfrentado al fenómeno de la técnica. La técnica había quedado marginada en la problemática de la antropología, y sobre todo en la cuestión del autoconocimiento del hombre, fue representada como lo colosal amenazador e incomprensible, o fue subsumida en el concepto desvalorizador de civilización, bajo el que se entiende el equivalente negativo de cultura.

SCHMIDT, físico por su formación profesional, fue lo suficientemente imparcial para ver en la historia universal (los últimos 2.000 años) dos desarrollos decisivos. El primero se operó entre los siglos VIII y II antes de Cristo, cuando en las diversas culturas nació la filosofía y el pensamiento se convirtió en objeto del pensamiento. El segundo desarrollo esencial, que durante los últimos siglos cambió radicalmente la situación del hombre en todo el mundo, es la técnica. Ésta es universal y ha llevado cada vez más a hacer desaparecer las fronteras de las distintas culturas. Es necesario no presentar este problema de la técnica sencillamente como un poder superior amenazador, sino analizarlo en su desarrollo. Una cuestión importante es la siguiente: La técnica ¿ha sido querida absolutamente en su forma actual o ha tenido un desarrollo propio, independientemente de los fines e ideas de quienes la han creado? SCHMIDT cree que la técnica tiene una regularidad de desarrollo que le es propia, regularidad que puede verse en los tres esta-

dios antes descritos: 1) la herramienta, 2) la máquina motriz y 3) el autó-mata.

El ciclo de acción se ha hecho independiente con las máquinas automá-ticas. El ciclo de acción es la manifestación universal del hombre. Actuando, el hombre interviene en el acontecer de la naturaleza, para cambiarlo. Esta acción no es completamente voluntaria: tras ella hay un imperativo, el imperativo de tener que alimentarse, el imperativo de la caza, de la defensa contra el enemigo, de la protección contra el clima. El hombre, pues, ha de cambiar su medio ambiente para sobrevivir. Cada una de estas acciones teleológicas es seguida bajo continuo control de este objetivo hasta que es alcanzado. En el ciclo técnico de control este ciclo de acción es objetivado, el objetivo sólo es pretendido por el sujeto; la acción para alcanzar este objetivo transcurre independientemente. El ciclo técnico de control puede describirse, en relación al efecto, como el reflejo isomorfo del ciclo de acción. Esto no significa en modo alguno que la técnica imite a la vida, pues el ciclo de acción no es más que *una* función necesaria para la vida.

Que el ciclo de acción se nos ofrezca en la técnica como objeto y que sea analizable en su estructura es algo que puede contribuir a comprender el ciclo de acción del hombre. SCHMIDT ve la potencia de la técnica en el hecho de poder ella liberar al hombre del trabajo y en el hecho de poder contribuir a su perfeccionamiento como reflejo isomorfo del ciclo de acción, al autoconocimiento del hombre.

Estas son algunas de las ideas fundamentales que SCHMIDT desarrolló en años posteriores trabajando sobre una teoría general del control. Sería cometer una injusticia contra SCHMIDT sacar de su obra cosas para rebatirlas. Una obra que trata tan exhaustivamente de responder a la cuestión de la existencia humana presentará siempre partes que no pueden ser aceptadas incontrovertiblemente y sin provocar discusión.

Norbert WIENER (1894-1964) se doctoró a los 19 años con un trabajo matemático, y a los 25 años fue elegido miembro de la Facultad de Matemáticas del Massachusetts Institute of Technology. Durante la segunda guerra mundial se ocupó sobre cuestiones de defensa militar. Reconoció que en el cálculo previo y persecución de un fin, los procesos de acoplamiento generativo tienen un papel importante y que éstos probablemente son también de gran importancia para los organismos vivos. Por aquel entonces trabajaba en colaboración con el ingeniero BIGELOW. Ambos tuvieron la misma idea: si en los sistemas biológicos tienen lugar acoplamientos regenerativos, estos ciclos de control en alteraciones anómalas deberían presentarse en el campo de la inestabilidad y mostrar oscilaciones. Estas ideas las propusieron al amigo de WIENER, el neurofisiólogo ROSENBLUETH, quien pudo confirmarles que, efectivamente, existen enfermedades del cerebelo en las que el paciente en reposo experimenta relativamente pocas molestias, pero que, al intentar aquél algún movimiento, tiembla de tal forma (intention-tremor) que apenas puede actuar por sí solo. Entre los tres publicaron un artículo que trata de modo general este complejo problema: "Behavior, Purpose and Teleology" (ROSENBLUETH et aliteri, 1943).

Dos cosas destacan en este artículo. La clasificación de conducta (beha-

vior) y la importancia de la adopción de un fin (purpose). La conducta se divide en numerosos subgrupos; en relación al objetivo o teleología se dice: "La teleología ha caído en descrédito por haber sido definida de tal suerte que un efecto dado siempre debe tener una causa previa. Al serle dado este aspecto a la teleología, se le dio desgraciadamente el reconocimiento, a tal aspecto inherente, de que es importante aceptar algún objetivo. Puesto que creemos que el objetivo es un supuesto importante para comprender ciertas formas de comportamiento, opinamos que un estudio teleológico es útil cuando evita la problemática de la causalidad y sólo se ocupa del estudio del objetivo. El concepto de comportamiento teleológico lo hemos restringido al aplicar esta designación únicamente para reacciones teleológicas, controladas por la falta de la reacción, por la diferencia del estado del objeto en cualquier momento y en la fase final, interpretado como objetivo. Comportamiento teleológico, pues, es sinónimo de conducta, que es controlada por acoplamiento regenerativo negativo, por lo cual aumenta en precisión y mediante una significación suficientemente limitada" (ROSENBLUETH et al., 1943, pág. 23-24).

Entre 1942 y 1953 se celebraron diez conferencias con el patrocinio de la Jossiah Macy Jr. Foundation, de Nueva York. Ante un reducido número de invitados (entre otros J. BIGELOW, H. VON FOERSTER, M. MEAD, W. S. McCULLOCH, W. H. PITTS, H. L. TEUBER, N. WIENER) se discutieron problemas concernientes a todo este campo que más tarde habría de llamarse cibernética. McCULLOCH (1955) hace un resumen de los temas que se debatieron. Fueron en primer lugar problemas de acoplamiento regenerativo y teoría de la información. Hay que destacar los intentos de explicar los conceptos y crear una terminología; se pronunciaron y propusieron luego a debate conferencias del campo de las ciencias biológicas, de la teoría de la información y de la lingüística. El objetivo de estas conferencias fue ante todo el de dar iniciativas en la discusión general a fin de ilustrar lo que se llamaba cibernética, y no el de propagar el conocimiento de las distintas especialidades.³

A partir de 1942 hubo un pequeño círculo de personas que se reunían regularmente para desarrollar y discutir estos nuevos aspectos del control y de la comunicación. Sin embargo, cuando la cibernética adquirió verdaderamente fama y popularidad fue a raíz de la publicación de la obra de WIENER *Cybernetics*.

¿Fue la idea o la persona de WIENER lo que contribuyó a la difusión de la cibernética? ¿Por qué estas ideas influyeron tan considerablemente sobre casi todas las ciencias bajo el nombre de cibernética y no bajo el de teoría del control, el de ciclo funcional o el de homeostasia? Con el año 1948 se cerró la prehistoria de la cibernética. Las ideas de WIENER estaban formuladas y habían recibido un nombre. Aun cuando multitud de científicos la abordasen al principio quizá con cierto recelo, la cibernética tuvo rápida difusión y aceptación, y hasta casi quedó olvidada la cuestión de su origen.

Por último, cabe señalar cómo este desarrollo se refleja incluso en la

3. Sólo se publicaron las ponencias de las sesiones 6.^a a 10.^a.

poesía. El término cibernética surge en ella por primera vez en 1949. En prosa, en el "pensador radar" de Gottfried BENN, la cibernética es todavía la ciencia secreta que parece ofrecer nuevos caminos al conocimiento y que inspira temor a las nuevas posibilidades de dominar el mundo. "¿Se ha detenido usted alguna vez a considerar que casi todo lo que la humanidad actual piensa o llama pensar, puede ser pensado ya por las máquinas construidas por la cibernética, la nueva ciencia de la creación?" (BENN, 1958, tomo II, pág. 265).

Dieciocho años después es el cibernético el tipo del científico moderno coronado por el éxito. En la "Biografía" de Max FRISCH pregunta el investigador del comportamiento KÜRSMANN: "¿Cree usted, KROLEVSKY, en su calidad de cibernético, que la biografía que un individuo tiene una vez es obligatoria, expresión de una fatalidad?... Me resisto tan sólo al hecho de que a todo cuanto ha acontecido alguna vez — porque ha acontecido, porque se ha hecho historia y por tanto definitivo, irrevocable — le imputemos un sentido que no le cuadra" (FRISCH, 1967, pág. 49). Esto es casi una caracterización no sólo de la "biografía que un individuo tiene una vez", sino también de la historia de la cibernética.

* * *

Este trabajo ha sido realizado bajo el patrocinio de la Deutsche Forschungsgemeinschaft (Gr. 161).