


a. a. liapunov  s. v. yablonskii

¿que es la cibernética?

Cuando se considera la problemática teórica de alguna rama de la ciencia, la siguiente cuestión se plantea como fundamental: ¿A partir de qué tareas prácticas surge la necesidad de nuevas investigaciones teóricas? ¿Cuáles son los resultados que se derivan de ella para la práctica? Es desde este punto de vista que es útil considerar los problemas teóricos de la Cibernética, en particular, sus problemas matemáticos y caracterizar sus tareas principales y aquellos métodos de los que ella se vale.

A diferencia de aquella forma de abordar el estudio de la Cibernética que desarrolla A. A. Markov¹ pretendiendo dar, internamente, una definición formal de algunos sistemas (redes causales²), que pueden ser considerados como modelos abstractos de aquello que se estudia en la Cibernética. nosotros

* Del libro: *Kibernetica, myshlenie, zhizn* (Cibernética, pensamiento, vida), Editora Mysl, Moscú, 1964. El título original del trabajo: «O teoreticheskikh problemah kibernetiki» (Sobre los problemas teóricos de la Cibernética). N. del T.

¹ Se refiere al artículo de Markov: ¿Qué es la Cibernética? En: *Cibernética, pensamiento, vida*. Págs. 39-52. N. del T.

² Markov define la Cibernética como la ciencia de las redes causales. Estas pueden ser definidas de la manera siguiente: «sea que tengamos un sistema de varios objetos materiales tales que cada uno pueda encontrarse en varios estados. Estos objetos serán llamados bloques. Sea que entre los estados de los bloques tengan lugar dependencias causales del tipo siguiente: El estado S_1 del bloque K_1 juntamente con el Estado S_2 del bloque K_2 ... juntamente con el estado S_n del bloque K_n provoca el estado S del bloque K. Los sistemas de este tipo, considerados conjuntamente con las dependencias causales entre los estados de los bloques que tienen lugar en ellos, serán llamados *redes causales* (Idem. pág. 46) N. del T.

6 partiremos no de aspectos de carácter interno de la Ciencia, sino de aspectos de carácter externo. Las tareas de una ciencia pueden ser bosquejadas, de una parte, encontrándose dentro de los límites de la ciencia dada: de otra parte procediendo desde el exterior y aclarando en primer orden la interrelación de la ciencia en cuestión con otras ramas del conocimiento, procurando caracterizar sobre esta base, la propia problemática interna. Nosotros marcharemos por esta segunda vía.

Es de notar, que en los últimos diez años los procesos de control que tienen lugar en los campos más variados de la actividad humana, se han hecho muy complejos: estos deben satisfacer requisitos diversos y de gran rigurosidad. Se hace necesario controlar los más variados procesos tanto en el campo de la técnica como en el de los fenómenos sociales. En muchos casos se presenta la necesidad de estudiar los procesos de control que tienen lugar en la naturaleza. Con estos últimos guardan relación principalmente, distintas ramas de la Biología y la Medicina. Los resultados de las investigaciones muestran que en la naturaleza el control está logrado con mucha perfección y a veces se presenta con una gran complejidad.

Para poder hacer una buena organización del control en campos distintos, es necesario poseer modelos de buen control. En muchos casos los procesos de control que tienen lugar en la naturaleza pueden servir de tales modelos.

Todo control se estructura de la manera siguiente: Se tiene un *agregado de control* y un *agregado controlable*. Estos están relacionados entre sí por *canales de comunicación*. Por estos canales se transmiten *señales*. Estas señales provocan determinadas acciones del agregado controlable: tiene lugar una correspondencia entre los sistemas de señales que se reciben, y aquellas acciones que estas señales provocan. Esta correspondencia es llamada *codificación* de la información, y el conjunto de señales que pueden ser transmitidas en las condiciones dadas, reciben el nombre de *información*.

Ya aquí surgen tareas específicas relacionadas, en particular, con el hecho de que la llegada de este o aquel sistema de señales al agregado actuante provoca en un caso algunas acciones del agregado, en otro caso otras. En la consideración de estas tareas es fundamental el aspecto relacionado con los modos de codificación de las acciones provocadas por las señales transmitidas. Surge el problema de como construir un sistema tal de transmisión de señales que asegure acciones correctas. En relación con esto son esenciales dos requisitos: En primer lugar se requiere una oportuna transmisión de las señales necesarias, y en segundo lugar, el requisito de transmitir señales de buena calidad. Esto último significa que en la transmisión de señales,

las interferencias no conduzcan a una tergiversación en las acciones del agregado controlable.

7

En este terreno surge un cúmulo de tareas de la *teoría de la información* que incluye la búsqueda de un modo de codificación de la información que garantice el régimen debido del trabajo del mecanismo actuante. Es característico que el mecanismo actuante tiene la posibilidad de realizar muchos actos diversos, mientras que el rol de la transmisión de señales consiste en garantizar determinada selección dentro del número de actos posibles. Aquí tienen lugar tareas de dos tipos: de una parte, se requiere garantizar la *capacidad de información* del canal de comunicación, de otra, garantizar un *equilibrio de las interferencias*. Estas tareas conducen a problemas que se resuelven por métodos puramente matemáticos. En algunos casos es necesario poder pasar de un sistema de señales a otro y regresar al sistema anterior. En relación con esto surgen problemas relacionados con el paso de un modo de codificación de la información a otro, y cuestiones referidas a la posibilidad de la *codificación y de-codificación*. En la solución de estos problemas interviene la aplicación de medios matemáticos. Estos medios están elaborados; los mismos están expresados en toda una serie de principios matemáticos, en teoremas que han sido rigurosamente demostrados. La utilización de estos teoremas permite aclarar en que casos estos o aquellos canales de comunicación son suficientes para asegurar el control de aquellos u otros agregados, qué requisitos debe cumplir un sistema de códigos en el caso de que se diseñe aquel u otro sistema de control, etc. Los resultados obtenidos por la teoría de la información explican, de una parte, fenómenos de la naturaleza, de otra, son utilizados en la técnica.

Un papel especial juegan los canales de *retroalimentación*. Las señales que entran por estos canales informan al sistema de control sobre las condiciones en que transcurre el control, qué dificultades se encuentran en el proceso de control, qué nuevos requisitos se plantean al control, etc. En general, la tarea de la retroalimentación consiste en poner en conocimiento al sistema de control de lo que sucede en el sistema controlable. Es necesario *elaborar* la información que ingresa. Esta elaboración se produce en relación con el *objetivo del control*. El control es necesario solamente cuando se requiere alcanzar un *fin* determinado. En correspondencia con el fin que se tenga, el cual está codificado también en el mecanismo de control, y utilizando un sistema determinado de reglas o determinado estatuto, es decir, un conjunto de reglas elementales y condiciones lógicas, se realiza la elaboración de aquel sistema de señales que entra en el mecanismo de control. Como resultado de esta elaboración, el mecanismo de control transmite sus *señales de control*.

8 Aquí se plantea la necesidad de elaborar métodos con cuya ayuda se pueda, partiendo del sistema de señales, las que informan sobre el curso del proceso de control, pasar a un sistema racional de señales de comando. Así se forma la rama de la cibernética teórica nombrada *procesos* (o métodos) *de decisión*. Aquí tienen lugar principalmente, los métodos de la planificación, valga decir, los métodos de decisión en condiciones estadísticas: se conoce una situación determinada y debemos tomar una decisión que sea realizada consecuentemente en la vida. Para la decisión de una solución en tales condiciones se ha elaborado el método de *programación lineal* y una serie de generalizaciones de éste.

Estos métodos encuentran aplicación en toda una serie de ramas. Los mismos conducen a resultados importantes; en particular, permiten solucionar tareas que anteriormente, no podían ser resueltas al no existir esos métodos. Por ejemplo, cuando se da alguna tarea y un complejo determinado de medios que pueden ser utilizados en su solución, por medio de esos métodos se pueden distribuir las tareas en la forma más ventajosa posible, según los recursos que se dispongan, a los efectos de obtener la solución en el plazo más corto o con un mínimo de gastos.

Algunas veces, sin embargo, se hace necesario tomar una decisión en condiciones, en que a toda hora está ocurriendo el ingreso de datos complementarios sobre el cambio de una situación. En tales condiciones las decisiones se toman solamente a un plazo inmediato. Estas tareas se deciden mediante métodos que han recibido el nombre de *programación dinámica* y que encuentran una gran aplicación.

Existen problemas relacionados con los procedimientos de decisión donde se hace necesario tomar en cuenta una *situación casual*. Aquí juegan un gran rol los *métodos estadísticos*.

A veces es necesario poder tomar una decisión en una situación donde hay que tener en cuenta las posibilidades menos propicias, por ejemplo, cuando hay que vérselas con un «contrario» que controla su sistema, desde su lado, en detrimento del sistema dado y tiende a causarle a este último pérdidas máximas. En este caso, es necesario buscar aquella forma de acciones que conduzca, ante todas las acciones posibles del «contrario», al efecto más favorable para el sistema dado, —teniendo en cuenta que el «contrario» de su parte, aplicará aquello que le sea más ventajoso. Estos procedimientos de decisión han obtenido el nombre de *procedimientos de juego*. Los mismos forman la *teoría de juegos* que tiene una aplicación práctica, por ejemplo, en los problemas económicos.

Después que ha sido tomada una decisión, es necesario realizarla. Para esto

es necesario llevar a efecto un gran complejo de acciones que concuerden entre sí, para lo cual es necesario definir su secuencia, aclarar como cambiar la forma de acción ante algunas situaciones particulares complementarias, etc. Este complejo de tareas se soluciona mediante la *teoría de algoritmos*. La teoría de algoritmos surgió en las entrañas de la matemática pura. No obstante si se escruta atentamente en esta teoría se podrá notar que la misma es aplicable a la solución de tareas que van mucho más allá, de ser puramente matemáticas. En la teoría de los algoritmos se consideran algunos actos elementales y se aclara en que caso es posible una combinación de estos actos, que dé solución a la tarea planteada.

La teoría de los algoritmos, desarrollada como parte de la Lógica matemática, ha jugado un gran papel en las matemáticas. La misma ha ido hoy en día mucho más allá de los límites de la temática interna de las matemáticas; en la actualidad la teoría de los algoritmos tiene una gran significación para las ramas más diversas de la actividad humana, aquellas, como por ejemplo, del control de la producción, la planificación de la economía nacional, etc. Muy a pesar de esto, la teoría de los algoritmos no ha tenido hasta nuestro tiempo, la atención que la misma merece. Aquel lenguaje matemático y aquellos métodos generales que fueron desarrollados en el terreno de la solución de tareas matemático-abstractas encontraron aplicación en la solución de problemas de la naturaleza más diversas, y ante todo en aquellas ramas como la *programación para las computadoras electrónicas*. En la rama de la programación para las computadoras electrónicas trabajan hoy probablemente cientos de miles de hombres en el globo terráqueo, y la misma se apoya en la teoría de los algoritmos. Precisamente tal programación constituye el aspecto aplicativo de la teoría de los algoritmos.³

Cuando la solución de una tarea es descrita como algún proceso lógico de elaboración de información, es necesario contar con un sistema material determinado (mecanismo) que satisfaga ese algoritmo.⁴ Por esto es natural que la *teoría de los sistemas de control* constituya una rama muy importante de la Cibernética y en esencia, el eslabón principal de la Cibernética teórica, es decir, la teoría de los mecanismos que realizan la elaboración de

³ La no consideración de esta circunstancia, una utilización insuficiente, en la programación, de los principios de la teoría de los algoritmos ha conducido al hecho de que el gran ejército de hombres que trabajan en la programación práctica, frecuentemente trabaje de manera poco efectiva, sin un «coeficiente de acción útil» lo suficientemente alto.

⁴ El término *mecanismo* se entiende aquí en su sentido más amplio: esto puede ser una máquina, puede ser un hombre, puede ser parte del organismo humano o parte del organismo de un ser vivo, algún complejo de órganos, puede ser un agregado, que esté formado por máquinas y personas al mismo tiempo, etc.

10 la información en correspondencia con el algoritmo dado. Esta parte de la Cibernética teórica posee un valor práctico colosal. La organización del control de la economía nacional, la organización del control de la industria, constituyen las más importantes tareas estatales de carácter general. Una parte integrante de la solución de las mismas lo constituye la creación de sistemas de control. La elaboración de los métodos matemáticos para la construcción de sistemas de control es una tarea científica y práctica de mucha importancia.

En los últimos diez años los trabajos en esta rama han sido desarrollados considerablemente en algunas direcciones particulares. Los esfuerzos principales de los teóricos en los primeros tiempos estuvieron encaminados al estudio de algunos modelos con posibilidades limitadas, pero, sin embargo, con una estructura relativamente visible. Estos modelos se escogían de tal manera que en los mismos se conservaran las relaciones esenciales de los objetos reales entre sí. Entre los primeros modelos que comenzaron a ser sometidos a un estudio sistemático, están los *circuitos de contacto*, los cuales fue posible estudiar con la ayuda del *álgebra de la lógica*. Ellos eran perfectamente descriptibles por medios lógicos. En la actualidad se desarrollan teorías matemáticas que permiten construir sistemas de control a partir de mecanismos dados con funciones dadas, que en lo posible contengan un pequeño número de elementos. Esta dirección ha obtenido hoy un gran desarrollo.

Los resultados obtenidos en las ramas de modelado en toda una serie de casos se generalizan y se extienden a una clase mucho más amplia de objeto. Así, en lugar de las redes de contacto es posible considerar aquellas redes que contengan elementos funcionales de naturaleza considerablemente variada. Sucede, que los métodos de síntesis elaborados para los esquemas de contacto encuentran aplicación también a una clase de objetos mucho mayor.

El autómata es otro de los objetos que tiene ahora un gran valor teórico. La *teoría de los autómatas* surgió en el terreno del estudio teórico del funcionamiento de la *red nerviosa*. Inicialmente fue construido un modelo matemático de la red nerviosa. En lo sucesivo el concepto de red nerviosa fue generalizado paulatinamente y surgió la teoría general de los autómatas.

En la actualidad la teoría de los autómatas se expone tanto en un lenguaje lógico como en uno algebraico. La misma tiene un gran valor. Se estudian las relaciones entre la estructura del autómata y su funcionamiento. Particularmente importante es el hecho de que se elaboren métodos algebraicos de simplificación de autómatas de algunas clases. Con la ayuda de las com-

putadoras electrónicas estos métodos se utilizan para la simplificación de algunas construcciones prácticas. 11

Algunos modelos de sistemas de control se construyen a niveles puramente matemáticos. Por ejemplo, en calidad de modelos frecuentemente se consideran las formas normales del álgebra lógica y los algoritmos de su simplificación.

Esto pareció ser una tarea elemental. Sin embargo, en aquellos casos en que se hace necesario trabajar con funciones que dependen de decenas de variables, el problema de encontrar una forma más simple de escribir estas funciones resulta ser muy difícil. Aquí surge un complejo de algoritmos específicos con cuya ayuda se puede simplificar la escritura de las funciones. Y aquí nos encontramos con el hecho de que los métodos elaborados para una clase reducida de modelos llevados a una suficiente perfección matemática, resultan aplicables a niveles mucho más amplios. Los métodos que fueron elaborados para la simplificación de la escritura de las funciones del álgebra de la lógica se aplican con gran éxito a la solución de tareas de mantenimiento de archivos de sistemas de canales múltiples. La solución de las tareas relacionadas con tales sistemas guarda relación con una aplicación de un lenguaje lógico peculiar y tiene una gran significación para la organización racional de los procesos de producción.

* * * * *

El objeto del presente artículo es el de dar una característica de los problemas teóricos de la Cibernética, partiendo de sus interrelaciones con las ramas del conocimiento donde son aplicables los resultados de esta ciencia.⁵ La Cibernética, desde el punto de vista desarrollado por nosotros, es la ciencia de los principios generales del curso de los procesos de control y de la estructura de los sistemas de control. La Cibernética está interrelacionada con muchas ramas del conocimiento que estudian procesos concretos de control. Por sus métodos la Cibernética es una ciencia matemática. Por eso, es erróneo tratar a la Cibernética en forma muy dilatada. Digamos, a menudo la economía matemática en su totalidad es atribuida a la Cibernética, a veces toda aplicación de los métodos matemáticos en la Biología es considerada como perteneciente a la Cibernética, etc. Esto es incorrecto. La

⁵ A un círculo semejante de problemas está dedicado nuestro artículo «Problemas teóricos de la Cibernética», «Problemi kibernetiki» No. 9, 1963, el cual contiene una exposición más detallada de algunos problemas considerados en el presente trabajo. Ver también, S. V. Yablonski, Sobre los problemas fundamentales de la Cibernética, «Problemi kibernetiki», No. 2, 1958.

Cibernética se ocupa del estudio de los procesos del control y de los sistemas de control. Es precisamente por esto que algunas cuestiones del campo de la economía, de la biología y de otras ciencias son sometidos a estudio por medio de métodos cibernéticos. Pero esto no es fundamento para reducir a la Cibernética todas las cuestiones relacionadas con la aplicación de los medios matemáticos en estas ciencias. Por ejemplo, no existen fundamentos para incluir los problemas de la estadística económica en la Cibernética. Esta misma situación se presenta en el campo de los problemas matemáticos de la Cibernética, a los que hay que referirse más detalladamente.

En la actualidad ha sido considerablemente difundido el punto de vista según el cual la Cibernética cuenta en su base con una representación de la discreción. Es cierto que esto no excluye la utilización en la Cibernética, del aparato clásico de la continuidad; sin embargo, la forma discreta de abordar prevalece indudablemente. La Cibernética en su base es discreta. Esto estampa su huella a todas las situaciones en la cibernética, y se refleja en toda la problemática de la correlación de los métodos discretos y continuos en las matemáticas modernas. En relación con esto, al unísono con el surgimiento y desarrollo de la Cibernética, comenzó a desarrollarse intensivamente también la matemática discreta. En la actualidad la matemática discreta es incluida a veces en la Cibernética. Nos parece que esto también es incorrecto: la matemática discreta no es una parte de la Cibernética, aunque está estrechamente relacionada y tiene una gran significación para la última.

Es bien conocido que la matemática clásica tiene un aparato altamente desarrollado, en forma de análisis matemático, cálculo diferencial e integral y otras partes. En la actualidad dentro de la matemática discreta tienen lugar la formación de teorías que corresponden a las partes señaladas de la matemática clásica. Así, se forman teorías que son análogos discretos de la teoría de las funciones de la matemática clásica, tiene lugar la formación de la geometría discreta y de otras ramas de la matemática discreta.

La utilización de abstracciones de largo alcance en la Cibernética conduce a una aplicación amplia del aparato matemático. Ese aparato se construye, de una parte, a partir de las necesidades de la propia Cibernética, de otra parte es tomado de distintas ramas de las matemáticas. En relación con esto se debe subrayar la importancia especial que tienen para la Cibernética aquellas partes de las matemáticas, como la *Lógica matemática*, la *estadística matemática*, y la *teoría de las probabilidades* que han existido mucho antes de la Cibernética; el valor de muchas de estas disciplinas para la Ci-

bernética en considerablemente grande y es posible suponer que con el tiempo el mismo irá en ascenso. 13

Anteriormente se ha hablado de la gran importancia que tiene la elaboración de los métodos matemáticos para la construcción de los sistemas de control. La elaboración de estos métodos se produce en relación a algunos modelos especiales que poseen posibilidades limitadas, pero sin embargo poseen una estructura relativamente simple. Estos objetos de modelado se seleccionan de tal manera que conservan su semejanza con los sistemas de control reales.

Los objetos de modelado indicados son conceptos matemáticos totalmente exactos. Los mismos provienen de distintas ramas de la ciencia y de la técnica. Algunos de estos conceptos están tomados de la Lógica matemática, otros de la técnica; tales son por ejemplo, los conceptos de sistema de contacto, circuito electrónico, autómatas; en la Cibernética han entrado objetos de la biología, como la red nerviosa; del campo de las computadoras, el de programa, etc. En la Cibernética teórica se consideran distintos tipos de tareas para estos objetos de modelado. La consideración de estas tareas está estrechamente vinculada con la diferenciación de los enfoques *macro* y *microscópicos* en la Cibernética.

Es sabido que el estudio de los sistemas de control es posible desde dos puntos de vista: *desde un punto de vista macroscópico* (enfoque macroscópico) y *desde un punto de vista microscópico* (enfoque microscópico). En el enfoque macroscópico, el sistema de control es considerado como una «caja negra»,⁶ cuya estructura interna es desconocida o casi desconocida. Tal situación tiene lugar por ejemplo, cuando se estudian sistemas de control difíciles de abordar (en los juegos, etc.) o cuando se consideran sistemas de control cuya estructura no está lo suficientemente estudiada (en la Biología, etc.). La esencia del enfoque macroscópico es definida por algunas peculiaridades específicas de los sistemas de control. En la mayor parte de los casos el sistema de control representa un objeto de naturaleza discreta, compuesto, en general, por un gran número de subsistemas de control elementales (elementos). Esta circunstancia conduce al hecho de que el sistema de control actúa no solamente como un objeto que posea una microestructura, sino también,

⁶ «Caja negra»: En estos sistemas el observador tiene acceso solamente a las señales de entrada y a las de salida, mientras que el mecanismo interno del mismo es desconocido. Las conclusiones sobre la conducta de estos sistemas, generalmente se hacen por medio de las observaciones de los cambios de las señales de salida que producen los cambios en las señales de entrada. Ver: W. Ross Ashby— «An introduction to Cybernetics». También: S. Beer— «Cybernetics and Management». N. del T.

14 como un objeto macroscópico. La presencia de un sistema de control de gran complejidad hace difícil el examen de la dependencia de las macropropiedades con respecto a las micropropiedades del mismo. Por esto, en las primeras etapas del estudio de un sistema de control, usualmente se acude al enfoque macroscópico (compare la forma de I. P. Pavlov de abordar el estudio de la actividad nerviosa superior). En el enfoque macroscópico el sistema de control investigado no admite un examen completo; lo único que se somete a una observación directa, son los polos del esquema del sistema de control, su memoria externa, así como su conducta. Como regla, ante la realización del enfoque macroscópico, desconocemos el esquema del sistema de control, como también la información elaborada por él, así como sus funciones. De tal manera, desde el mismo comienzo poseemos datos sobre el destino del objeto dado y contamos con una representación bien trivial, bien muy imprecisa del objeto como sistema de control. Por esto, antes que nada es necesario descubrir al objeto dado como sistema de control.

La obtención de tal tratamiento del objeto, está vinculada con la construcción de una descripción matemática especial de este objeto, la cual es necesaria para las consideraciones cibernéticas subsiguientes. No es posible hacer esto por la sola vía del enfoque macroscópico: aquí también es necesario el enfoque microscópico.

Después de realizadas las investigaciones por la vía del enfoque macroscópico, deberemos pasar indefectiblemente al enfoque microscópico. La posibilidad del enfoque microscópico se define por el hecho de que el sistema de control puede ser desmembrado en sistemas elementales, al mismo tiempo el número de estos sistemas de control elementales puede ser considerablemente grande. El enfoque microscópico comienza siempre con la puesta de manifiesto de los sistemas de control elementales con relación a los sistemas de control pertenecientes a alguna clase. A nivel del enfoque microscópico se produce la distinción de los «ladrillos» de los que están formados los sistemas de control.

La problemática matemática en la Cibernética está vinculada con las tareas principales de esta última y con los niveles de las abstracciones admitidas en ella, por eso es útil caracterizar las tareas matemáticas de la Cibernética en relación con las tareas fundamentales de esta ciencia y los enfoques macro y microscópicos desarrollados en la misma.

A nivel del *enfoque macroscópico* se debe distinguir, antes que nada, la tarea de *descubrir el código de la información*. Con esto se relacionan una serie de problemas de la *teoría de la información*: el estudio de los diferentes *principios de codificación*, el estudio de las propiedades de los *sistemas de*

códigos, la investigación de los *algoritmos de la codificación y decodificación*. Luego procede la distinción de las funciones del sistema de control. Esto consiste en la investigación del aparato matemático que describe el funcionamiento de los sistemas de control, por ejemplo, la elaboración de lógicas *finitovalentes e infinitovalentes*, el estudio de *operadores limitadamente-determinados*, el estudio de los *algoritmos*, la *elaboración de la lógica probabilística y la teoría de los algoritmos con acontecimientos casuales elementales*.

El estudio de la conducta de los sistemas de control da lugar a un círculo importante de tareas matemáticas que surgen al nivel del enfoque macroscópico. Este círculo de problemas incluye el estudio de los sistemas de control como *canales de comunicación* (la evaluación de la capacidad de tráfico, problemas de la estabilidad de interferencias, etc.); la investigación de los sistemas de control como sistemas de *mantenimiento de archivos* (problema de la *confiabilidad*, evaluación de la *efectividad del mantenimiento*, etc.); el estudio de la conducta del sistema de control desde el punto de vista del alcance de un *fin (problemática de juego)*; el estudio de la conducta de los sistemas de control desde el punto de vista de su organización (su comparación, determinación de la capacidad de aprendizaje, etc.); la evaluación de la estructura del sistema de control a partir de su conducta, en particular la evaluación de la extensión de la memoria interna.

La tarea del descubrimiento de los vínculos entre los elementos es formulada matemáticamente en el *enfoque microscópico*. Aquí se consideran las tareas vinculadas con la topología de los sistemas de control, a saber: tareas vinculadas con la teoría de los grafos, con la teoría de las redes lógicas, y el estudio de los circuitos (incluyendo la elaboración de los diferentes lenguajes para la estructura de los esquemas de tales circuitos).

La algoritmización de los sistemas de control constituye una rama importante de las tareas de la cibernética matemática. En esta problemática pueden ser incluidos el estudio de los modos diferentes de algoritmización de los sistemas de control (el cálculo de los elementos, de la topología, de la información); la elaboración de los principios de las algoritmizaciones *aproximadas* (tácticas), entre ellos, los principios de la *teoría de los juegos*, de los modelos matemáticos de los juegos.

Luego procede el *análisis*, y lo que es particularmente importante, la *síntesis de los sistemas de control*. La *síntesis* de los sistemas de control incluye la elaboración de los métodos de síntesis de los sistemas de control que poseen una conducta dada (incluyendo la tarea de la *automatización de la síntesis*); el estudio de las *características asintóticas* (en dependencia de los elementos,

16 la topología, el tipo de algoritmización); el descubrimiento de la naturaleza lógica de la dificultad de la síntesis de los *circuitos minimizados* (los más económicos en algún sentido); el descubrimiento de familias de sistemas de control con una conducta mucho más simple.

Las transformaciones idénticas de los sistemas de control constituyen otro grupo de tareas de la cibernética matemática. Con estas tareas está vinculada la construcción de sistemas de identidades para la transformación de sistemas de control de distintas clases; el descubrimiento de los casos en que se hace posible la construcción de un sistema de identidades finito y completo; la elaboración de algoritmos de simplificación de los sistemas de control con la ayuda de un sistema de identidades.

Cuando se elaboran los métodos de transición de un sistema de control a otro, en el proceso de su evolución, surgen tareas matemáticas peculiares.

Los problemas relacionados con el estudio de la *confiabilidad* de los sistemas de control constituyen una rama especial de las cuestiones matemáticas de la cibernética, estos son: la puesta de manifiesto de la influencia de la elección del código, sobre la confiabilidad del trabajo del sistema de control ante la no confiabilidad de las entradas (construcción de *códigos de equilibrio de las interferencias*); la síntesis de sistemas de control confiables, a partir de elementos no confiables; la elaboración de métodos de control del trabajo de los sistemas de control.

Llama la atención la generalidad de las tareas matemáticas para los diferentes modelos señalados con anterioridad. De una parte se tiene una comunidad de resultados: la elaboración de teorías relacionadas con modelos diferentes de la cibernética frecuentemente conduce a resultados que coinciden totalmente — a resultados muy similares. Se produce también la comunidad de métodos en distintas ramas de la cibernética matemática. Los resultados obtenidos para un modelo se transfieren a otro, frecuentemente, casi palabra por palabra.

Esto incita en la actualidad a ocuparse de la elaboración de nuevos conceptos generales y a la realización de una clasificación de los sistemas de control y de los objetos de modelado de la cibernética matemática. Es un hecho, que nunca llegaremos a alcanzar un sistema perfecto de conceptos de la cibernética. No obstante es necesario avanzar en esta dirección. La necesidad de elaborar conceptos más generales que los existentes en la cibernética, y de una clasificación de los objetos considerados en ella, no es cuestión que se desprenda simplemente de la necesidad de esbozar el objeto de la cibernética: esta necesidad, se hace sentir nítidamente en relación con la só-

lución a las tareas que surgen en la Cibernética. Las propias tareas exigen la elaboración de nuevos conceptos. Citemos el ejemplo siguiente.

En la actualidad se han obtenido resultados científicos considerables en la teoría de los *circuitos de contacto*. Pero no hay nada que ocultar: los circuitos de contacto en la automática pueden ser considerados como el día de ayer de la ciencia y de la técnica. La automática moderna se basa en elementos de más perfección, en los modernos resultados de la electrónica. Con eso, los elementos de los mecanismos técnicos modernos de la cibernética progresan rápidamente. Por eso si se intentara cada vez construir una teoría de determinados elementos concretos, las mismas estarían condenadas de antemano a una infecundidad práctica, ya que no podrían ser utilizadas: envejecerían antes de que alcanzaran resultados de alguna consideración para la práctica. El planteamiento de tareas generales, la elaboración de conceptos generales preservan, precisamente, contra esta situación.

Es necesario decir, que aunque subrayamos la necesidad de la elaboración de conceptos generales relacionados con los modelos de la Cibernética, esto no quiere decir, de ninguna manera, que subvaloremos la significación del estudio de modelos concretos. El rol de las investigaciones en este campo también será muy grande en lo adelante. Tomemos por ejemplo, un objeto de modelado como los autómatas. Algunos de los resultados que se logran cuando se investigan estos modelos, no se obtienen directamente. Por eso se hace necesario introducir, digamos, modelos intermedios, modelos que no coinciden totalmente con los autómatas, pero que les son parecidos; se hace necesario resolver de alguna manera la tarea planteada para estos modelos intermedios e irlos aproximando paulatinamente a los autómatas. Por esta vía la tarea planteada es resuelta, frecuentemente, lo más fructíferamente.

* * *

Para concluir detengámonos en algunas cuestiones vinculadas con la tarea del desarrollo ulterior de la Cibernética. Antes que nada, la específica de la Cibernética exige una organización peculiar del trabajo científico. La Cibernética es por sus métodos, una ciencia matemática. Su objeto es muy diverso y la misma se relaciona con distintas ramas de la actividad humana. En la Cibernética tienen una gran significación la utilización de las computadoras y la técnica del cálculo electrónico, ya que estos son medios universales para la simulación de los sistemas de control y para la comprobación de los resultados de las investigaciones que se obtienen teóricamente. Por eso se hace necesaria una organización de colectivos vigorosos, formados de matemáticos, representantes de la técnica electrónica de cálculo y de espe-

18 cialistas de aquellas ramas a las que se propone la Cibernética. Estos son antes que nada, los economistas, tecnólogos, biólogos, lingüistas, etc.

La Cibernética es una rama de la ciencia que posee un gran valor práctico, pero que exige gastos materiales considerables, la atracción y formación de nuevas fuerzas científicas, la elaboración de una nueva aparatara técnica, etc. Por eso se hace necesario, la creación de centros científicos poderosos, bien equipados de posibilidades técnicas y experimentales y que posean especialistas de todas las ramas necesarias. Hasta que tales centros científicos no sean creados, en el campo de la Cibernética, habrán más buenos deseos que cuestiones reales.

Con el problema de la creación de centros de Cibernética poderosos está vinculada la tarea de la formación de cuadros. La necesidad de perfeccionar la cuestión de la preparación de los especialistas en todas las ramas relacionadas con la Cibernética. Un ejemplo convincente de esto lo constituyen la biología y la medicina. Las perspectivas de la aplicación de la Cibernética en estas ramas es considerablemente amplia: La ayuda a los médicos en el servicio de operaciones del lado de la Cibernética, y de la técnica Cibernética; la utilización de computadoras para las consultas cuando se plantean los diagnósticos de las enfermedades; la aplicación de la Cibernética en la rama de la selección en algunos campos del control de la agricultura, etc.

Eludir la necesidad de desarrollar la dirección cibernética en la biología no es posible bajo ninguna condición. Para el desarrollo de esta dirección es necesario ante todo una difusión entre los especialistas —biólogos y médicos— de conocimientos matemáticos, y de una cultura matemática. Sin embargo, en la actualidad, ni los médicos ni los biólogos reciben una formación matemática moderna.⁷ Es extremadamente importante para los médicos y biólogos, una moderna preparación físico-matemática. En general se debe pensar en una aproximación de la educación superior moderna a aquellas exigencias que presenta la vida en relación con el hecho de que haya aparecido una nueva rama de la ciencia y de la técnica: la Cibernética y la técnica de computación electrónica. Aquí es necesario, en primer orden es necesario reflexionar detenidamente sobre la cuestión de una ampliación y elevación del nivel de la formación matemática.

Finalmente es necesario hablar sobre la literatura de Cibernética. Aun son muy limitadas las tiradas de una literatura científica cabal sobre Cibernética. Además, las ediciones populares que se dedican a la masa de los lectores y los

⁷ Los cursos de matemática estudiados por ellos son muy limitados, y lo fundamental, que no corresponden a los requisitos que debe reunir la formación matemática del médico y el biólogo cibernético.

artículos en la prensa periódica, frecuentemente de poca calificación, tienen una amplia divulgación. Ha madurado la tarea de mejorar radicalmente el problema de la literatura en el campo de la Cibernética, escribir y editar tiradas suficientes de libros buenos de sus distintas ramas.

19

Traducción: *Eramis Bueno*

