

Hacia una Formalización de los Sistemas

CARLOS CORTES A.
Departamento de Ingeniería de Sistemas
Universidad Nacional de Colombia

El artículo que a continuación se transcribe constituye un análisis crítico de los aportes del profesor G. Klir sobre las posibilidades y perspectivas que ofrece a la Teoría General de Sistemas la aplicabilidad de la lógica matemática. En sustancia, el autor encuentra benéficos dichos aportes no obstante las complicaciones técnicas que se presentarían en el campo de los sistemas sociales. Más concretamente, la supresión, en la práctica, de la variable tiempo en aras de la simplificación, contrasta con la inestabilidad y el dinamismo que caracterizan a la mayoría de los sistemas.

Luego de analizar un abanico de definiciones de sistema, a partir de los propósitos deseados, Klir adhiere a la concepción sistémica basada en las relaciones causales y, para los sistemas de tipo no causal, propone el establecimiento de hipótesis razonables con posterior comprobación de las mismas.

En relación con las clasificaciones de los sistemas también se ofrece un abanico a partir de diferentes puntos de vista. Así mismo, se observa que cualquier discusión sobre clasificación conceptual debe tener en cuenta los aspectos ontológicos, teleológicos y epistemológicos de una realidad dinámica.

En opinión del autor, la metodología presentada por Klir tiene la ventaja de afinar conceptualmente la desarrollada por diferentes autores, especialmente mediante la inclusión de la variable tiempo.

1. Presentación

Basados en un artículo recientemente publicado en Español acerca de la Teoría de Sistemas de George Klir, hemos considerado oportuno e importante acercarnos a esa teoría, que tanta influencia tiene hoy en día en el mundo de la(s) ciencia(s) y de las tecnologías.

Adelantamos al lector no especializado que el artículo en algunos pasajes es muy pesado, lo cual no significa que sea muy profundo. Quien no desee expurgar esos pasajes puede evitar la lectura de lo que hemos llamado **Símbolos empleados y Definiciones de Sistemas** (numeral cinco).

Sin embargo, para sostener la continuidad, el lector debe recordar que el concepto de Sistema es el de **un conjunto de partes interrelacionadas**. Conjunto e interrelaciones que pueden ser no variantes en el tiempo o variantes en el tiempo, es decir, **la Teoría de Sistemas** hace el **análisis de estructuras y funciones**, así como la síntesis de modelos desde la perspectiva del tiempo. El problema radica en el énfasis que dicha teoría da al análisis dinámico pero sin variación en el tiempo. Esta limitación ha sido totalmente entendida y se ha trabajado en tal dirección con la poderosa ayuda de las matemáticas y del computador.

A pesar de todos estos esfuerzos académicos, el problema mencionado más que un problema de soluciones técnicas, parece ser un problema de concepción filosófica, que no logra romper sus ataduras con una tradición que arranca de muy atrás y que hoy en día se impone como análisis de estructura y función.

Estas consideraciones subyacen en los numerales tres y cuatro de nuestro artículo, como aproximación a la Teoría de Sistemas de George Klir y culminan en la aridez del mencionado numeral cinco.

Del numeral seis en adelante quedan apenas planteados grandes temas que esperamos poder ampliar dentro de nuestra perspectiva.

2. Breves antecedentes

El profesor G. Klir, a finales de la década de los sesenta mediante un saludable intento de formalización, se aproxima a lo que muchos han llamado la Teoría General de Sistemas, que se destaca como **una teoría de teorías** mediante las aplicaciones de la lógica y de la matemática, en el enfoque "SISTEMICO". Dada la "filosofía espontánea" del enfoque se plantean innumerables problemas por las diferentes influencias ideológicas en su punto de partida.

La concepción anterior aplicada al campo de los sistemas sociales recuerda en gran medida el análisis funcionalista de Parsons con la "cibernetización" inherente. En esta perspectiva son famosos los modelos propuestos a partir del método del profesor Forrester o las exageraciones de Beer.

En uno u otro caso ante el ineludible cambio de concepción científica a partir de la Física cuántica, y de otras influencias no tratadas aquí, la Teoría de Sistemas pretende revisar el nivel de generalidad a la luz de las matemáticas actuales.

Mencionamos que todos estos análisis fueron iniciados por Von Bertalanffy, quien, como otros científicos de su época recibieron la influencia del Círculo de Viena.

El lector en lengua hispana puede conseguir un buen resumen del trabajo mencionado en "Tendencias en la Teoría General de Sistemas", el artículo de R. Orchard, "Sobre un enfoque de la Teoría General de Sistemas".

3. Introducción

Es indudable que el concepto de Sistemas es uno de los más empleados, muchas veces de manera totalmente intuitiva. (Por supuesto que el calificativo de "paradigma" es muy peyorativo, a pesar de la defensa que hacen algunos del concepto de sistemas como génesis de reorganización de la ciencia).

A partir de tal paradigma Klir repite lo conocido por nosotros al precisar el campo de la naturaleza a estudiar.

Así en cualquier ciencia se precisan tres aspectos:

- a) El OBJETO de estudio por parte de una ciencia específica.
- b) Los alrededores inmediatos de ese objeto (entorno).
- c) Los atributos del OBJETO de estudio.

Estos últimos pueden ser observables y medibles (valores, cantidades, magnitudes, etc.), en el espacio y en el tiempo. Esa cuantificación podemos registrarla en un nivel especial llamado el nivel de resolución espacio-tiempo.

Enumeremos algunos ejemplos: la medicina, las diferentes ingenierías, la termodinámica, la electrónica (a la que tanto deben los computadores), las matemáticas, la lógica (a pesar de considerar entidades inobservables), la ingeniería de sistemas (que se redefiniría por su objeto de estudio), etc.

El mencionado nivel de resolución incluye o puede incluir valores instantáneos, pasados, presentes o futuros.

Miremos ahora las relaciones entre las variables en tal nivel de resolución: entre las más importantes están las relaciones entre las variables que **no varían con el tiempo** (relaciones **invariantes** en el tiempo) y que se explican de diversas maneras. Klir detiene nuestra atención en las llamadas relaciones fundamentales, de gran importancia en las investigaciones experimentales, las cuales resumimos a continuación:

- a. El conjunto de cantidades provenientes de la observación y medición de atributos.
- b. El nivel de resolución en el espacio-tiempo.
- c. Las relaciones invariantes en el tiempo entre determinadas cantidades.
- d. Las propiedades que caracterizan estas relaciones.

Con estas relaciones fundamentales podemos hablar de Sistemas Generales pues con aquellos rasgos podemos definir cualquier sistema, incluidos los sistemas sociales. Pero los problemas pueden ser muchos y las tautologías pueden proliferar.

En el próximo numeral veremos algunos conceptos fundamentales tales como actividad del sistema, comportamiento, organización, estructura, programa, universo, estado, etc.

4. Conceptos fundamentales

Afinemos algunos conceptos necesarios posteriormente:

Nivel de resolución: es la determinación de aquellos valores que toman las observaciones o cantidades dadas, junto con el tiempo que le corresponden. Ejemplo:

Atributo uno: observación 1, valor 1,
tiempo 1

observación 2, valor 2,
tiempo 2

Atributo dos: observación 1, valor 1,
tiempo 1

observación 2, valor 2,
tiempo 2, etc.

(Claro está que esas observaciones las podemos representar en forma de tablas, gráficas, matrices, ecuaciones, etc.). Este nivel de resolución expresa la frecuencia y la precisión con la cual registramos las cantidades elegidas.

Llamamos a esta estructura la **ACTIVIDAD DEL SISTEMA**, la cual puede ser resultado directo o indirecto de la observación en el tiempo. Dicha actividad no siempre corresponde a un sistema simple y puede necesitar un proceso estadístico sobre el cual se construye la teoría (en este caso Klir prefiere emplear el término "clase de sistema").

Ya fue precisada la noción de **relaciones invariantes en el tiempo**. Estas relaciones pueden serlo a lo largo de toda la experimentación u observación (absoluta), o en algún intervalo amplio (relativa) o en algún intervalo restringido (instantánea).

Notaremos como en la totalidad del nivel de resolución, Klir cuidadosamente ha dirigido su atención a aquellos aspectos del sistema que **no varían con el tiempo**. Más aún, para reforzar lo anterior, Klir define el **comportamiento** mediante aquellas relaciones particulares invariantes en el tiempo especificadas para un conjunto de cantidades, para un nivel de resolución y basadas en muestras de un cierto modelo.

Es evidente que ese comportamiento puede ser permanente, relativo o temporal, pero el autor ha logrado fijar de una vez por todas, nuestra atención en el comportamiento.

Luego nos define la ORGANIZACIÓN como el conjunto de todas las propiedades que producen el comportamiento del sistema. Como dicha organización puede cambiar insiste en la no variación con el tiempo y llama a esta parte constante de la organización, la ESTRUCTURA, mientras la parte variable es el PROGRAMA.

Prosigamos siempre según Klir:

El conjunto de todos los elementos del sistema es el **Universo**. Esos elementos se obtienen mediante la separación de sus partes constitutivas, a la manera de la propuesta cartesiana, pero en los sistemas generales con las dificultades propias de la recomposición de la totalidad. Aunque este truco metodológico es viable en el campo mecánico, por ejemplo, al analizar computadores, es poco factible pretenderlo como método general. Al conjunto de todas las cantidades externas comunes entre dos elementos, el autor las denomina ACOPLAMIENTOS.

El conjunto de valores instantáneos de todas las cantidades del sistema es el ESTADO del mismo. Puesto que hay cantidades que se manifiestan y otras que no lo hacen, entonces podemos hablar de cantidades **externas** e **internas** del sistema. Si nos referimos a las cantidades internas hablamos del ESTADO INTERNO del sistema.

Definamos claramente el concepto de programa: es el conjunto de todos los estados del sistema, un estado instantáneo y el conjunto de transiciones del estado instantáneo a todos los estados del sistema en el tiempo. Es útil distinguir entre programa, subprograma y programa instantáneo:

- a. Programa completo (ya definido como programa).
- b. Subprograma es un estado instantáneo más un subconjunto no vacío del conjunto de todas las transiciones de los estados instantáneos a todos los estados que se consideran en el tiempo.
- c. Programa instantáneo es un estado instantáneo junto con las transiciones que parten de este estado.

El programa completo contiene una parte constante y una parte variable. La primera parte se incluye en la estructura, más exactamente en la estructura de estado-transición.

En un período de tiempo encontramos diferentes probabilidades de transición entre los estados. Estas últimas podemos considerarlas adicionalmente importantes en la estructura anteriormente mencionada.

El concepto de estructura se particulariza para universo y sus acoplamientos (U-C) o para sus estados y transiciones (S-T).

A estas alturas el lector debe estar en capacidad de ejemplificar su objeto de estudio, según sus necesidades de análisis.

Por nuestra muestra y con los propósitos mencionados, precisamos hasta aquí los puntos más importantes del trabajo de Klir:

1. Hemos llegado mediante la vía de la teoría de sistemas, al concepto de estructura.
2. En sus raíces esta teoría es estructuralista al definir la **totalidad** según sus relaciones entre los diversos elementos (totalidad estructurada). Es funcionalista al plantear esa totalidad como una mera función (1).
3. Aunque Klir ha seguido trabajando en la matematización teórica de los sistemas generales, es interesante observar que su tratamiento científico principal, trata de simplificar la complejidad de cualquier tipo de sistema. No es el estudio de la compleja realidad en sus diversos momentos, más bien es la preocupación por la no-variación en el tiempo.

Esta inmensa dificultad ha tratado de superarse mediante la simulación de modelos que varían en el tiempo, pero cuyas técnicas son de difícil comprensión para el no iniciado.

4. Un método general que de entrada nos suprime la variable tiempo, entra en una contradicción metodológica solamente explicable por la facilidad

que presenta un análisis según "rebanadas" en el tiempo. Dicha contradicción sólo será superada cuando hayamos desarrollado técnicas que no supriman variable tan importante.

5. Pero el problema no parece ser un simple problema de nuevas técnicas, sino un problema de concepción. Una carga ideológica de pensar el mundo como una totalidad permanente, con una persistencia en sus estructuras y una insistencia en una concepción de la naturaleza estable. Versiones estas que tanto se degustan en el empleo y proliferación de los modelos.
6. En la práctica científica cobran gran **funcionalidad** los sistemas estables, delimitados mediante cortes temporales. Desafortunadamente para aquella funcionalidad, la mayoría de los sistemas son inestables, por ejemplo, en la Física cuántica, en las actuales crisis del capitalismo o en las nuevas variantes que dejan obsoletos los modelos de la dependencia latinoamericana.

Pero aún así, muchos siguen insistiendo en presentar los sistemas como estabilizados completamente.

Con base en lo anterior podemos definir un sistema de diferentes maneras, según los propósitos deseados y de acuerdo con los siguientes puntos:

(1) Al hablar de función en esta forma, nos viene a la mente el análisis parsoniano quien deja de lado las transformaciones para volver a la función como imperativo categórico del sistema social. Pecaríamos de injustos si no recordáramos la importancia de la autorregulación que tanto debe a las matemáticas y a la ingeniería. De otra parte pensemos que el concepto de estructura es relativamente antiguo. Nuevamente pecaríamos de injustos si no mencionáramos los trabajos de J. Piaget en psicología o de Lévi-Strauss en la antropología, solo para nombrar dos de los más importantes.

1. El conjunto de cantidades (externas e internas).
2. El nivel de resolución (que puede graficarse o llevarse a una matriz del tipo espacio-tiempo que se representa por L).
3. La actividad (cuantificada experimentalmente).
4. El comportamiento.
5. Un conjunto de estados.
6. Un conjunto de transiciones entre los estados.
7. Un estado instantáneo.
8. El programa.
9. El universo del discurso.
10. Los acoplamientos.
11. La estructura U-C.
12. La estructura S-T.
13. La estructura del sistema.

Las definiciones que nos trae Klir consideran solamente:

1. El conjunto de cantidades externas junto con el nivel de resolución L.
2. Una actividad dada.
3. Un comportamiento (permanente).
4. La estructura real U-C.
5. La estructura real S-T.

Miremos ahora la nomenclatura empleada antes de entrar a las definiciones de sistemas.

Símbolos empleados

L: X_1, X_2, \dots, X_n, T , nivel de resolución.

T: (Conjunto de tiempo): [t/t es un instante considerado] y $t \in [0t \text{ máx }]$

X: x_1, x_2, x_n designa al conjunto de símbolos que identifican las cantidades observadas (cantidades externas). Los valores de las cantidades externas X en el instante t se denotan por $x_i(t)$.

X_i : es el conjunto de todos los valores posibles de $x_i(t)$.

S: conjunto de los estados: (s_1, s_2, \dots, s_n) . El conjunto completo de las transiciones entre los estados es una relación binaria $R(S,S) \in S \times S$.

Si consideramos el sistema en un período de tiempo dado, la transición de s_i a s_j que está contenida en $R(S,S)$, la asociamos con una probabilidad condicional $P(s_j/s_i)$ o de transición entre los estados i y j. Obviamente la sumatoria correspondiente es uno, para cada un i particular:

$$\sum_j P(s_j/s_i) = 1$$

$$\text{con } (s_i, s_j) \rightarrow P(s_j/s_i)$$

Para especificar formalmente el comportamiento del sistema, suponemos una correspondencia uno a uno,

$(i, \infty) \longleftrightarrow i$, tal que las nuevas cantidades p_j se establezcan según la ecuación: $P_j(t) = x_i(t + \infty)$

Donde $p_j(t)$ es el valor de tal cantidad en el tiempo t , $(t + \infty) \in T$, $x_i(t + \infty) \in X_i$, $p_j(t) \in X_i$, $i = 1, 2, \dots, n$, y $j = 1, 2, \dots, m$.

Luego el valor $p_j(t)$ representa cualquier valor instantáneo de x_i en $t_{s_i} ((i, \infty) \longleftrightarrow j)$, para $\infty < 0$, valor pasado, o para $\infty > 0$, valor futuro.

Tomemos el conjunto de todos los valores posibles de la cantidad p_j , denotado por P_j . Obviamente, $P_j = X_i$ si $(i, \infty) \longleftrightarrow j$ para cualquier ∞ .

El comportamiento es representado por el subconjunto del producto cartesiano $P_1 \times P_2 \times \dots \times P_m$. A la cantidad p_j la llamamos **cantidad principal**.

Cada muestra de esas cantidades en el comportamiento debe asociarse con la probabilidad de su ocurrencia, si el sistema se considera en un período de tiempo. En este caso, el comportamiento es una aplicación $a \rightarrow P(a)$, donde a representa los elementos y $p(a)$ representa las probabilidades asociadas:

$$\sum_a p(a) = 1$$

En cuanto a la estructura U-C:

El símbolo a_0 es el entorno; a_i , donde $i = 1, 2, \dots$ son los elementos del universo.

$$A = [a_0, a_1, a_2, \dots, a_r]$$

b_i es el comportamiento permanente del elemento a_i .

$B = [b_1, b_2, \dots, b_r]$, es el conjunto de todos los comportamientos permanentes del universo del discurso.

Entre un par de elementos (a_i, a_j) del conjunto A , se da el acoplamiento como la intersección de los correspondientes conjuntos A_i y A_j . Si denotamos el acoplamiento entre un par de elementos (a_i, a_j) por el símbolo C_{ij} tendremos:

$$C_{ij} = C_{ji} = A_i \cap A_j \quad i \neq j$$

C es el conjunto de todos los acoplamientos entre los elementos del conjunto B (característica). Sobre las bases anteriores proponemos cinco definiciones según: las cantidades externas y el nivel de resolución, una actividad dada, el comportamiento permanente, la estructura real U-C y la estructura real S-T.

5. Definiciones de un sistema

Def. 1 El sistema S definido como conjunto de cantidades externas y el nivel de resolución, o sea, (X, t, L) .

Def. 2 El sistema S definido por un conjunto de variaciones en el tiempo, de las cantidades que se consideran (actividad), o sea, $[X_1(t), X_2(t), \dots, X_n(t) / t \in T, x_i(t) \in X_i, \text{ para todo } i = 1, 2, \dots, n]$

Def. 3 El sistema S es una relación dada, invariante en el tiempo, entre valores instantáneos y/o pasados y/o futuros de las cantidades externas. (La relación puede admitir una inter-

pretación probabilística pero no es necesario hacerla), o sea, $(R (P_1, P_2, \dots, P_m))$ donde cada P sigue $P_j = X_i, s_j (i, \infty) \leftrightarrow j$.

Algunas veces $a \rightarrow P(a)$; en esta aplicación se asigna una probabilidad $P(a)$ a cada elemento de la relación a de R , pero este caso es el más complejo.

Def. 4 El sistema S es un conjunto de elementos, sin comportamientos permanentes y un conjunto de acoplamientos entre los elementos y el entorno, o sea, el par (B, C) . (Definido S por la estructura real $U-C$).

Def. 5 El sistema S es un conjunto de estados y un conjunto de transiciones entre los estados, cada transición puede tener asociada una probabilidad de ocurrencia. El sistema es un conjunto de estado S junto con una relación binaria de un estado a otro $R(S, S)$, o sea, el par $[S, R(S, S)]$ según las definiciones anteriores.

Algunas veces se define, además, por la aplicación $(s_i, s_j) \rightarrow P(s_i/s_j)$ con la probabilidad condicional $P(s_j/s_i)$ desde s_i a s_j tal que $(s_i, s_j) \in R(S, S)$ según lo ya visto.

6. Relaciones causales y sistemas controlados

Evidentemente, G. Klir supone en su concepción sistémica relaciones causales que son relaciones principalmente determinísticas entre causas y efectos, entre cantidades independientes y dependientes.

Esta apreciación incluye una metodología de caja negra lo cual no puede ignorar la probabilidad, cuestiones estas que se escapan de los límites de este trabajo.

Además, al efectuar las diferentes observaciones es típico de la ingeniería de sistemas hablar de entradas (input) y salidas (output). Pero aquí es donde se evidencian más las complejidades de un análisis:

1. Porque las cantidades de salida pueden afectar las de entrada (análisis retrospectivos).
2. Porque pueden presentarse lazos de retorno que influyen en las condiciones de entrada.

Según Klir estos sistemas requieren de hipótesis razonables y una posterior constatación de estas para poder encontrar el control de tales sistemas que no son del **tipo causal estricto**.

Para estos sistemas podemos emplear las cinco definiciones anteriores, así:

1. Redefinimos las variables de entrada y de salida.
2. Definimos las variables para el lazo de retorno, los acoplamientos y fijamos algunas correspondencias y aplicaciones.

7. Clasificación de sistemas

Las técnicas de sistemas han buscado, últimamente, una clasificación ex-

haustiva del mundo basadas en esta ocasión en el concepto de sistema. (2).

Existen algunas clasificaciones en esta dirección, entre ellas está la de K. Boulding o la de Orchard basada en la de G. Klir.

Este último presenta la siguiente clasificación:

Sistemas físicos y sistemas abstractos.

Los sistemas físicos pueden ser reales y conceptuales que a su vez se subdividen en limitados e ilimitados.

Desde el punto de vista de la interacción entre los sistemas y su entorno:

Sistemas absolutamente cerrados, cerrados y abiertos.

Desde otro punto de vista podemos clasificar los sistemas en:

1. Sistemas discretos o aquellos que consideran un conjunto de valores discontinuos a diferentes tiempos.
2. Sistemas continuos o que consideran que las variables no son discontinuas en el tiempo.
3. Sistemas que son mezclas de los dos anteriores, o sea, aquellos que observan un tratamiento en veces discreto y en veces continuo.

Los primeros toman un conjunto de valores precisos, por ejemplo, el lanza-

miento de un dado. Muchos de los problemas que se presentan en este caso permiten una resolución de lógica matemática (caso muy especial en ingeniería es el denominado "pulso").

Los segundos son sistemas que se pueden dar según expresiones de las matemáticas clásicas. Generalmente se representan mediante ecuaciones diferenciales lo que facilita la resolución de problemas de ingeniería pero que ofrecen dificultades adicionales.

Los sistemas CONTROLADOS pueden clasificarse en:

1. Sistemas determinísticos son aquellos que permiten únicamente relaciones causales, no es posible asignar probabilidades.
2. Sistemas estocásticos son aquellos que permiten asociar una probabilidad a la relación entre los elementos.

También podemos clasificar los sistemas:

1. Según el movimiento del sistema en el tiempo:
 - a) Sistemas dinámicos.
 - b) Sistemas estáticos.

Los sistemas dinámicos son los más interesantes, pues los estáticos son un caso particular de los anteriores.

Los primeros presentan el caso de los sistemas en equilibrio dinámico es-

(2) Valga la pena mencionar que en épocas de revolución científica, la ciencia en un primer momento se reclasifica en un afán "taxonómico" que no es propiamente conceptual.

table. Este es el de tratamiento más sencillo y ofrece grandes facilidades para el análisis pero no es el único, pues se presenta el sistema dinámico inestable.

2. Según la finalidad del sistema la clasificación es muy discutible, pues la finalidad de un sistema social no es equiparable a la de un sistema biológico o a la de un sistema mecánico.

Incluso en este último no es lo mismo una herramienta, una máquina o un autómata (para el caso la máquina de Turing).

3. Según la finalidad y el movimiento podemos hablar de sistemas descritos por su proceso o historia, de los cuales los más importantes son: los ciclos y los procesos propiamente tales, los sistemas reversibles y los irreversibles, los equifinales y los no equifinales. Los repetitivos y los no repetitivos. Una discusión menos "taxonómica" sobre el tópico de las clasificaciones requiere:

- a) Una precisión sobre la posibilidad de una ontología basada únicamente en el llamado sistema.
- b) Una ampliación del concepto de teleología.
- c) Un mayor detenimiento en el problema epistemológico en relación con el mundo visto como una totalidad en permanente movimiento. Y de otro lado, la limitación de un conocimiento científico que muy posiblemente no es total. Pero estas consideraciones escapan al análisis de G. Klir y a nuestra contribución crítica sobre el autor.

Destacamos dos contribuciones importantes de los autores ya mencionados. La primera es la referente a la relación entre computador y continuidad. La segunda es la de intentar una definición de sistemas tal que abarque las cinco definiciones anteriores con una variación fundamental: la del tiempo.

El intento es bastante acertado y nos acerca a las técnicas de simulación con variación en el tiempo. Sin embargo, la visualización de estas definiciones es bastante complicada. Por ejemplo, al graficar las diferentes clases de definiciones de sistemas queda una figura en la cual de un lado, están los rasgos no fundamentales y del otro, los rasgos fundamentales (a nivel permanente). Cada definición queda en un plano particular. Solamente, con las definiciones básicas mezcladas tenemos 31 planos diferentes lo que ya es bastante complejo.

Al considerar la variable tiempo, las gráficas ya no son superficies planas sino que se sitúan en tres dimensiones. Cuestión aún más compleja, que tiene muchas aplicaciones en procesos de crecimiento espacial.

8. Problemas fundamentales

Algunos afirman que la ingeniería consiste fundamentalmente en un diseño de soluciones a los problemas de la producción. Por esta razón nos referiremos al tópico tratado por Klir acerca de los problemas de sistemas. Esos problemas son los siguientes:

1. Análisis de los sistemas.

2. Síntesis de los sistemas.
3. Investigación del sistema en "Caja Negra".

En el primer caso el problema parte de la estructura U-C. Su finalidad es determinar el comportamiento o la estructura S-T, correspondientes a la estructura U-C. Notemos nuevamente el hincapié del autor en las características **estables** del sistema.

En el segundo caso el problema parte de la estructura S-T (o del comportamiento) y su finalidad es determinar la estructura U-C. (Observe el lector que estos dos problemas identifican la forma de tratar los problemas en Ingeniería de Sistemas y que por supuesto cobija a otras disciplinas como la Administración, la Economía, etc.).

Aunque los dos tipos de problemas ofrecen sus dificultades, que aumentan a medida que crece la complejidad de los sistemas, la síntesis especialmente requiere de metodologías especializadas.

El tercer tipo de problema requiere que las cantidades externas de los sistemas sean observables y/o medibles. Los problemas de caja negra buscan principalmente soluciones tecnológicas y difieren unos de otros en la cantidad de conocimientos disponible acerca del sistema y de sus objetivos.

Respecto a los problemas de caja negra es conveniente revisar siempre los siguientes aspectos:

1. La relación de la organización de la caja negra con los datos experimentales y las hipótesis pertinentes acerca de la organización del sistema.
2. La definición clara de las entradas, salidas y posibles lazos de retorno (cuando el sistema es controlado). Así mismo, establecer los experimentos para la identificación de los estados.

Durante estos experimentos la caja negra debe estar lo más definida posible y debe estimularse para obtener las respuestas del sistema. (3).

9. Metodología e Investigación

Parece ser que, cada vez más, hay una preocupación filosófica de los teóricos de sistemas por las cuestiones metodológicas que son despreciadas por los "practicistas" a ultranza.

La particular metodología de sistemas, que de ninguna manera es general, tiene dos campos de acción específicos, los sistemas de información y el campo de los computadores. Además, la teoría de sistemas se ve en la obligación de acudir a las matemáticas en cuestiones tan específicas como las álgebras de Boole. Lugar principal corresponde a la teoría de grafos por su importancia en el desarrollo de la simulación. Así también los avances en la teoría de los algoritmos y las aplicaciones originadas en el desarrollo de lenguajes artificiales.

(3) El autor en un artículo sobre la Información enfatiza las características de este tratamiento en la nueva tecnología de la moderna pedagogía.

Todos estos aspectos deben ubicarse en nuestro contexto para poder explicarnos las incongruencias entre una investigación marginal al interior del proceso social, los fenómenos políticos, característicos de nuestros países y una tecnología que se convierte en factor primordial dentro de una economía de consumo, pero que es imprescindible una vez se inicia un proceso social como el que se da en estos países.

10. La noción del modelo

Hemos insinuado nuestras inquietudes acerca de una teoría que se erige mesiánicamente pero que tiene, sin lugar a dudas, más de una tentación empirista o pragmatista.

Podemos resumir los soportes fundamentales de la teoría de sistemas en:

1. El concepto de sistema, estructura y modelo.
2. El concepto de información.
3. El concepto de "feedback" o de lazo de retorno.
4. El concepto de máquina-autómata.

Nos queda por ver rápidamente la noción de modelo según la estricta teoría de sistemas.

El concepto de modelo se ve según la teoría de sistemas como la asignación entre un retrato y un original, cuyo fundamento es el isomorfismo. Matemáticamente esa asignación es lo que llamamos una aplicación.

Clasificación de modelos:

- a) Modelos de comportamiento.
- b) Modelos de estructura S-T.
- c) Modelos de estructura U-C.

Por lo general, el trabajo no se realiza sobre el original sino sobre el retrato. Es decir, una vez montado el modelo se trabaja sobre éste en las siguientes áreas:

1. Formulación teórica (matemáticas, hipótesis, etc.).
2. Aplicación de herramientas (computador, cálculos numéricos, etc.).
3. Experimentación (simulación, técnicas de escenarios, etc.).
4. Verificación del modelo (confrontación entre modelo y realidad).
5. Aplicabilidad del modelo a diferentes situaciones y realidades.
6. Nuevas formulaciones teóricas (por caso, nuevas teorías de sistemas generales).

Inicialmente la técnica echa mano de las analogías físicas. Posteriormente se lleva a cabo la formalización que mejora la analogía, así:

1. Definimos un S_1 sobre el objeto de interés mostrando la base de la analogía (rasgos base).
2. Definimos un S_2 mostrando los rasgos base.

3. Definimos una transformación T entre S_1 y S_2 , que depende de los "rasgos base".

S_2 puede ser modelo de S_1 . En tal caso T hace que S_1 y S_2 sean iguales según los rasgos base estudiados.

11. Conclusiones

- a) La metodología propuesta por Klir tiene la ventaja de **afinar conceptualmente** el tratamiento metodológico desarrollado por diferentes autores.
- b) Esta teoría presenta grandes similitudes con teorías tales como el estructuralismo, la cibernética, etc., al fin y al cabo es parte de la "atmósfera de los tiempos".
- c) El profesor Klir recalca nuevamente la importancia de las matemáticas dentro del "enfoque sistémico".
- d) El profesor Orchard, por su parte, considera el problema de la enseñanza de los sistemas generales y del espíritu de renovación pedagógica que debe producirse en un mundo contemporáneo pletórico de innovaciones tecnológicas.
- e) Por nuestra parte, recomendamos al lector de este trabajo una amplia

ción de los diferentes aspectos aquí tratados, que en un futuro intentaremos profundizar.

- f) Valga nuestra insistencia acerca del problema del método en relación con el tiempo.

El profesor Klir en sus diferentes trabajos ha desarrollado métodos para incluir tan importante variable, con resultados positivos en problemas de ingeniería. Otros teóricos han contribuido al análisis según la variable tiempo, pero no con el mismo acierto, sobre todo en problemas diferentes a los de la estricta ingeniería.

- g) Otro problema que merece destacarse es el de las técnicas concretas de programación que no podemos reducir al simple método del "ensayo y error", sino que es necesario el "análisis" matemático y la optimización de algoritmos, la teoría de redes y los grafos en sus aplicaciones prácticas.

Finalmente, agradecemos a todas aquellas personas que de una u otra manera han contribuido al esclarecimiento y a la divulgación de temas tan áridos como éste, pero tan importantes en esta época. Hacemos particular reconocimiento a los estudiantes de la Universidad Nacional por su innegable aporte a estas notas.