

**TEORÍA GENERAL DE  
SISTEMAS**

John P. van Gigch.  
Trillas. México

**EI ENFOQUE DE SISTEMAS: TEORÍA GENERAL DE SISTEMAS  
APLICADA**

**INTRODUCCIÓN**

Al enfoque de sistemas puede llamarse correctamente *teoría general de sistemas aplicada* (TGS aplicada). Por tanto, es impórtame proporcionar al lector una comprensión básica del surgimiento de la ciencia de los sistemas generales.

En este capítulo describiremos en primer lugar los muchos aspectos del enfoque de sistemas y cómo se relacionan con la *teoría general de sistemas* (TGS). Esta última proporciona los fundamentos teóricos al primero, que trata con las aplicaciones.

Delinearemos las principales propiedades de los sistemas y de los dominios de sistemas. Además, se hace una comparación entre los supuestos subyacentes a los enfoques analítico-mecánico y a los de la teoría general de sistemas. Esta comparación demuestra la incapacidad de los enfoques analítico-mecánicos para tratar el dominio de los campos biológico, conductual, social y similares. La TGS ha surgido para corregir estos defectos y proporcionar el marco de trabajo conceptual y científico para esos campos. Los puntos de vista principales de la teoría general de sistemas se tratan en el capítulo 3.

**LOS DIFERENTES ASPECTOS DEL ENFOQUE DE SISTEMAS**

El enfoque de sistemas puede describirse como:

1. Una metodología de diseño.
2. Un marco de trabajo conceptual común.
3. Una nueva clase de método científico.
4. Una teoría de organizaciones.
5. Dirección por sistemas.
6. Un método relacionado a la ingeniería de sistemas, investigación de operaciones, eficiencia de costos, etc.
7. Teoría general de sistemas aplicada.

## **El enfoque de sistemas: una metodología de diseño**

Los administradores, oficiales públicos, estadistas y hombres y mujeres que poseen un puesto de responsabilidad en los negocios, industria, educación y gobierno, encuentran cada vez más difícil decidir sobre los cursos de acción para que sus problemas alcancen una feliz solución. Dichas personas se ven atormentadas por bandos que los urgen para que observen todos los aspectos del problema y al mismo tiempo incorporen sus opiniones en el diseño final del sistema en cuestión. No importa cuan pequeño sea el impacto que una decisión tiene en uno o varios sistemas, en donde por sistema entendemos no sólo la organización de un departamento, sino también la función y todos los individuos y componentes de éste. Existen sistemas dentro de los sistemas. Un sistema de potencial humano pertenece a un sistema de trabajo, el cual a su vez puede incorporarse a un sistema operativo, etc. Debido a que un movimiento en uno de los sistemas puede afectar y hacer que éste mismo se perciba en los demás, los autores de decisiones deben considerar el impacto de sus acciones con premeditación. El enfoque de sistemas es una metodología que auxiliará a los autores de decisiones a considerar todas las ramificaciones de sus decisiones una vez diseñadas. El término *diseño* se usa deliberadamente: los sistemas deben planearse, no debe permitirse que sólo "sucedan".

## **El enfoque de sistemas: un marco de trabajo conceptual común**

Los sistemas se han originado en campos divergentes, aunque tienen varias características en común.

### ***Propiedades y estructuras***

Uno de los objetivos del enfoque de sistemas, y de la teoría general de sistemas de la cual se deriva (véase abajo), es buscar similitudes de estructura y de propiedades, así como fenómenos comunes que ocurren en sistemas de diferentes disciplinas. Al hacerlo así, se busca "aumentar el nivel de generalidad de las leyes" que se aplican a campos estrechos de experimentación. Las generalizaciones ("ísmorfismos", en la jerga de la teoría general de sistemas), de la clase que se piensan van más allá de simples analogías. El enfoque de sistemas busca generalizaciones que se refieran a la forma en que están organizados los sistemas, a los medios por los cuales los sistemas reciben, almacenan, procesan y recuperan información, y a la forma en que funcionan; es decir, la forma en que se comportan, responden y se adaptan ante diferentes entradas del medio.<sup>1</sup> El nivel de generalidad se puede dar mediante el uso de una notación y terminología comunes, como el pensamiento sistemático se aplica a campos aparentemente no relacionados. Como un ejemplo, las matemáticas han servido para llenar el vacío entre las ciencias. La abstracción de su lenguaje simbólico se presta asimismo para su aplicación general.

Emery lamenta cualquier esfuerzo prematuro para lograr un "marco de trabajo conceptual común", a fin de permitir que prevalezca la mayor diversidad de pensamiento durante los años de formación de una nueva disciplina. Ackoff, por el contrario, trata de proporcionar "un sistema de conceptos de sistemas".<sup>2</sup>

No creemos que la variedad y la diversidad se verán bloqueadas, aun si se hacen intentos para dar alguna integración a lo que conocemos a la fecha.

### ***Métodos de solución y modelos***

El nivel de generalidad también puede tener lugar en aquellas áreas donde los mismos modelos describen lo que superficialmente parece ser un fenómeno sin relación. Como un ejemplo, el concepto de las cadenas de Markov, una herramienta estadística que expresa las probabilidades de un proceso secuencial, puede utilizarse para describir entre otras cosas: *a)* las diferentes etapas de reparación y desintegración de máquinas sujetas a mantenimiento; *b)* los diferentes delitos que cometen quienes transgreden la ley cuando están sujetos a reincidir, y *c)* el cambio de marca de las amas de casa cuando hacen sus compras en el supermercado.

Se dice que los métodos generales, al contrario de los específicos, tienen "poca fuerza", punto que se estudiará en el capítulo 14. Lo que se requiere es preservar la "fuerza" del método, en tanto que se extiende su alcance. El enfoque de sistemas busca encontrar la relación de métodos de solución, a fin de extender su dominio de aplicación y facilitar la comprensión de nuevos fenómenos. Siempre que sea posible, debemos combatir la especialización y compartimentalización. Quisiéramos extender y generalizar el conocimiento que ya poseemos a disciplinas y problemas adicionales.

### ***Dilemas y paradojas***

Como los demás enfoques científicos, el enfoque de sistemas no trata problemas metodológicos —dificultades que no puede resolver a su propia satisfacción. Tan pronto como se adopta el enfoque de sistemas, aparecen los siguientes problemas de dualismo o dualidad.

**Simplicidad contra complejidad.** No podemos hacer frente a problemas complejos, de aquí que intentemos aportar versiones más simples. Al simplificar nuestras soluciones, éstas pierden realismo. Por tanto, estamos divididos entre la incapacidad de resolver problemas complejos y la falta de aplicabilidad de soluciones obtenidas de modelos simples.

**Optimización y suboptimización.** Solamente podemos optimizar sistemas cerrados, como son los modelos en los cuales se conocen todos los supuestos y condiciones limitantes. Las situaciones de la vida real son sistemas abiertos, porciones que pueden, a lo mejor, estar parcialmente optimizadas. Además, optimizar los subsistemas no garantiza que el sistema total óptimo se logre, en tanto que la optimización del sistema total (si se llega a lograr) no garantiza que puedan optimizarse al mismo tiempo todos los subsistemas.

**Idealismo contra realismo.** Nunca podemos alcanzar lo óptimo, la solución claramente ideal. Si va a tener lugar la implantación, debemos aceptar versiones más realistas de lo óptimo.

**Incrementalismo contra innovación.** Suponiendo que somos incapaces de partir drásticamente de patrones de solución establecidos, buscamos soluciones cercanas a las actualmente aceptadas (incrementalismo) y creemos mejorar los sistemas existentes mediante el análisis de la operación de los subsistemas componentes (mejoramiento de sistemas). Estos enfoques nunca tienen éxito en la solución total de los problemas, lo cual requiere la adopción de nuevos diseños a nivel del sistema total (véase el capítulo 1).

**Política y ciencia, intervención y neutralidad.** Debemos decidir si las ciencias deben permanecer libres de valores, en la teoría y sin compromisos, o si la ciencia debe orientarse a un objetivo, buscar influir en los resultados e interesarse en la ética de las consecuencias que impone en los receptores.

**Acuerdo y consenso.** La planeación requiere que todos los participantes contribuyan a las soluciones de los sistemas y su implantación. Para obtener tales resultados se necesita un consenso que es difícil de lograr cuando se premia la individualidad e independencia.

Todos estos dilemas se presentan súbitamente tan pronto como buscamos aplicar el enfoque de sistemas a nuestros problemas. Dilemas que son comunes a todos los problemas y soluciones de sistemas. Por tanto, consideramos que, a menos que se resuelvan, realmente no estamos adoptando una solución de sistema total, Al Final de este libro será claro que muchos de estos temas quedaron sin resolver.

La dualidad no es un estado de cosas peculiar a las ciencias sociales. En las ciencias físicas, a fin de explicar todos los fenómenos, admitimos una teoría electromagnética a la vez que una teoría cuántica de luz. En la mecánica, aceptamos ciertas relaciones entre fuerza, masa y aceleración a velocidades más lentas que la velocidad de la luz, pero relacionamos la masa con la energía a la velocidad de la luz. Ambas teorías son lógicas. Por un lado, existen razones para creer que el dualismo es un estado de cosas peculiar a las ciencias sociales y que el mundo fluctúa entre los extremos de un espectro, como el hombre entre lo bueno y lo malo. Por otro lado, la dualidad sólo puede ser una transición hacia un estado único que vendrá cuando comprendamos mejor el mundo. Al final, debe prevalecer una solución de sistema única.

### **El enfoque de sistemas; una nueva clase de método científico**

A lo largo de este libro, será cada vez más evidente que los métodos del paradigma ciencia, por los cuales las ciencias físicas han logrado un gran progreso, no son aplicables en "el otro lado del tablero", a todos los sistemas de las ciencias de la vida, ciencias conductuales y ciencias sociales. El mundo está hecho de entidades físicas y de sistemas vivientes. Hay un conocimiento creciente de que, en tanto estas dos clases de sistemas comparten muchas propiedades, sus atributos respectivos son tan diferentes que aplicar los mismos métodos a ambos, conduce a grandes conceptos falsos y errores. El método científico que nos ha sido de gran utilidad para explicar el mundo físico debe complementarse con nuevos métodos que pueden explicar el fenómeno de los sistemas vivientes. El enfoque de sistemas y la teoría general de sistemas de la cual se deriva, están animando el

desarrollo de una nueva clase de método científico abarcado en el paradigma de sistemas, que puede enfrentarse con procesos como la vida, muerte, nacimiento, evolución, adaptación, aprendizaje, motivación e interacción. El enfoque de sistemas busca abarcar este nuevo método de pensamiento que es aplicable a los dominios de lo biológico y conductual. Además, requerirá un pensamiento racional nuevo que será complemento del paradigma del método científico tradicional, pero que agregará nuevos enfoques a la medición, explicación, validación y experimentación, y también incluirá nuevas formas de enfrentarse con las llamadas variables flexibles, como son los valores, juicios, creencias y sentimientos.<sup>3</sup>

### **El enfoque de sistemas: una teoría de organizaciones**

El enfoque de sistemas tiene que ver, en gran parte, con las organizaciones de diseño —sistemas elaborados por el hombre y orientados a objetivos que han servido a la humanidad. El enfoque de sistemas otorga una nueva forma de pensamiento a las organizaciones que complementan las escuelas previas de la teoría de la organización. Éste busca unir el punto de vista conductual con el estrictamente mecánico y considerar la organización como un todo integrado, cuyo objetivo sea lograr la eficacia total del sistema, además de armonizar los objetivos en conflicto de sus componentes. Esta integración demanda nuevas formas de organización formal, como las que se refieren a los conceptos de proyecto de administración y programa de presupuesto con estructuras horizontales superimpuestas sobre las tradicionales líneas de autoridad verticales. Una teoría de sistemas organizacional tendrá que considerar la organización como un sistema cuya operación se explicará en términos de conceptos "sistémicos", como la cibernética, ondas abiertas y cerradas, autorregulación, equilibrio, desarrollo y estabilidad, reproducción y declinación. Siempre que sea relevante, el enfoque de sistemas ya incluye alguno de estos conceptos en su repertorio. Éste complementa otros enfoques sobre la organización y la teoría sobre la administración.<sup>4</sup>

### **El enfoque de sistemas: dirección por sistemas**

Las grandes organizaciones, como por ejemplo, las corporaciones multinacionales, la militar, y la diseminación de agencias federales y estatales, enfrentan problemas cuyas ramificaciones e implicaciones requieren que éstos sean tratados en una forma integral, a fin de competir con sus complejidades e interdependencias. Tales organizaciones deben tener la habilidad de "planear, organizar y administrar la tecnología eficazmente".<sup>5</sup> Deben aplicar el enfoque de sistemas y el paradigma de sistemas a la solución de sus problemas, un enfoque que requiere que las funciones de sistemas descritas en este libro, se apliquen a la dirección de los problemas complejos de la organización. Al tratar cada situación, ésta debe considerarse en el contexto y marco de trabajo de la organización tomada como un "sistema", un todo complejo en el cual el director busca la eficacia total de la organización (diseño de sistemas), y no una óptima local con limitadas consecuencias (mejoramiento de sistemas). La filosofía del todo y perspectiva de este libro pueden, por tanto, aplicarse a las funciones de los directores de promover y desarrollar un enfoque integrativo de las decisiones asignadas, requeridas en el medio altamente tecnológico de la gran empresa. Por tanto, el enfoque y dirección de sistemas puede verse como la misma "forma de

pensamiento", con una metodología común fundamentada en los mismos principios integrativos y sistemáticos.<sup>5</sup>

### **El enfoque de sistemas: métodos relacionados**

Creemos que existe una distinción entre lo que algunos llaman *análisis de sistemas*, y lo que aquí llamamos *enfoque de sistemas*. Muchos tratados de análisis de sistemas se han dedicado al estudio de problemas relacionados a los sistemas de información administrativa, sistemas de procesamiento de datos, sistemas de decisión, sistemas de negocios, y similares.

El enfoque de sistemas, como se le concibe en este texto, es bastante general y no se interesa en un tipo particular de sistema. Algunas presentaciones del análisis de sistemas sólo enfatizan el aspecto metodológico de este campo. Nuestro tratado sobre el enfoque de sistemas intenta estudiar las herramientas del oficio, así como el fundamento conceptual y filosófico de la teoría. La metodología de Checkland, llamada *análisis aplicado de sistemas*, es más parecida a nuestra teoría general de sistemas aplicada que lo que pudiera parecer que implica su nombre. Véase la nota 3.

La ingeniería de sistemas y la eficiencia de costos también son nombres relacionados al enfoque de sistemas. Todos ellos se derivan de una fuente común, y la literatura de estos campos está íntimamente relacionada con el de análisis de sistemas. No se debe pasar por alto los lazos que unen el enfoque de sistemas con la investigación de operaciones y con la ciencia de la administración. Muchos artículos de esos campos pueden considerarse del dominio de la teoría general de sistemas. Estas tres jóvenes disciplinas aun se encuentran en estado de flujo. Mantienen intereses comunes y poseen raíces comunes. Es concebible que algún día una nueva disciplina que lleve uno de los nombres arriba citados, o alguno nuevo, abarcará a las demás. Hasta este momento, la teoría general de sistemas ha proporcionado el ímpetu hacia esa dirección.

### **El enfoque de sistemas: teoría general de sistemas**

El enfoque de sistemas abarca los principios de la teoría general de sistemas. Como se describe en el capítulo 3, la teoría general de sistemas es una nueva disciplina que se inició en 1954. La TGS intenta alcanzar el estatus de una ciencia general a la par de las matemáticas y la filosofía. La teoría general de sistemas proporciona la capacidad de investigación al enfoque de sistemas. Ésta investiga los conceptos, métodos y conocimientos pertenecientes a los campos y pensamiento de sistemas. En este contexto, los términos "enfoque de sistemas" y "teoría general de sistemas aplicada" se usan como sinónimos.

## **TAXONOMÍA DE CIENCIAS Y SISTEMAS**

Las propiedades de los sistemas y diferencias en su dominio, pueden estudiarse en el contexto de una taxonomía que considera a la teoría general de sistemas como una ciencia general a la par de las matemáticas y la filosofía. Las ciencias especializadas cubren un espectro, como se muestra en la figura 2.1. Si

partimos de la izquierda, se pueden colocar las ciencias físicas, como son la física, la química y las ciencias de la tierra que tratan con tipos de sistemas que Boulding ejemplifica con "marcos de referencia", "aparatos de relojería" y "termostatos". De acuerdo con Boulding, los "marcos de referencia" son estructuras estáticas, los aparatos de relojería son "sistemas dinámicos simples con movimientos predeterminados", y los "termostatos"<sup>11</sup> son "mecanismos de control o sistemas cibernéticos"<sup>1</sup>/ Las ciencias de la vida —biología, zoología y botánica— traíanlos sistemas abiertos o "estructuras automantenidoas" como las células, y las plantas y animales. Al movernos a la derecha en la taxonomía, encontramos las ciencias conductuales —antropología, ciencias políticas, psicología y sociología— y las ciencias sociales, que comprenden las ciencias conductuales aplicadas: economía, educación, ciencia de la administración, etc. Estas ciencias tratan al individuo humano como un sistema y toman en cuenta los sistemas y organizaciones sociales. La clasificación de sistemas de Boulding se considerará posteriormente, cuando se introduzca más adelante en el capítulo el concepto de jerarquía. También posteriormente se hablará más a fondo de la justificación de desintegrar la teoría general de sistemas en teoría de sistemas "rígida" y "flexible" así como de las propiedades de sistemas mostrados en la parte inferior de la figura 2.1.

No se quiere decir que la taxonomía de las ciencias y sistemas presentada aquí sea definitiva. Muchas ciencias nuevas como la bioingeniería no se definen con respecto a las líneas de separación delineadas aquí. Nuestro esquema solamente está diseñado como un auxiliar para describir la envergadura del pensamiento de los sistemas en el espectro del conocimiento. Colocar la teoría general de sistemas arriba de las ciencias especializadas, no necesariamente significa que la primera es más importante que las segundas. Su posición relativa sólo es representativa de la naturaleza del papel que desempeñan en el espectro y de las diferencias entre los tipos de sistemas que tratan. Esas diferencias se tratan más adelante, cuando procedamos a explicar las propiedades y dominio de sistemas.

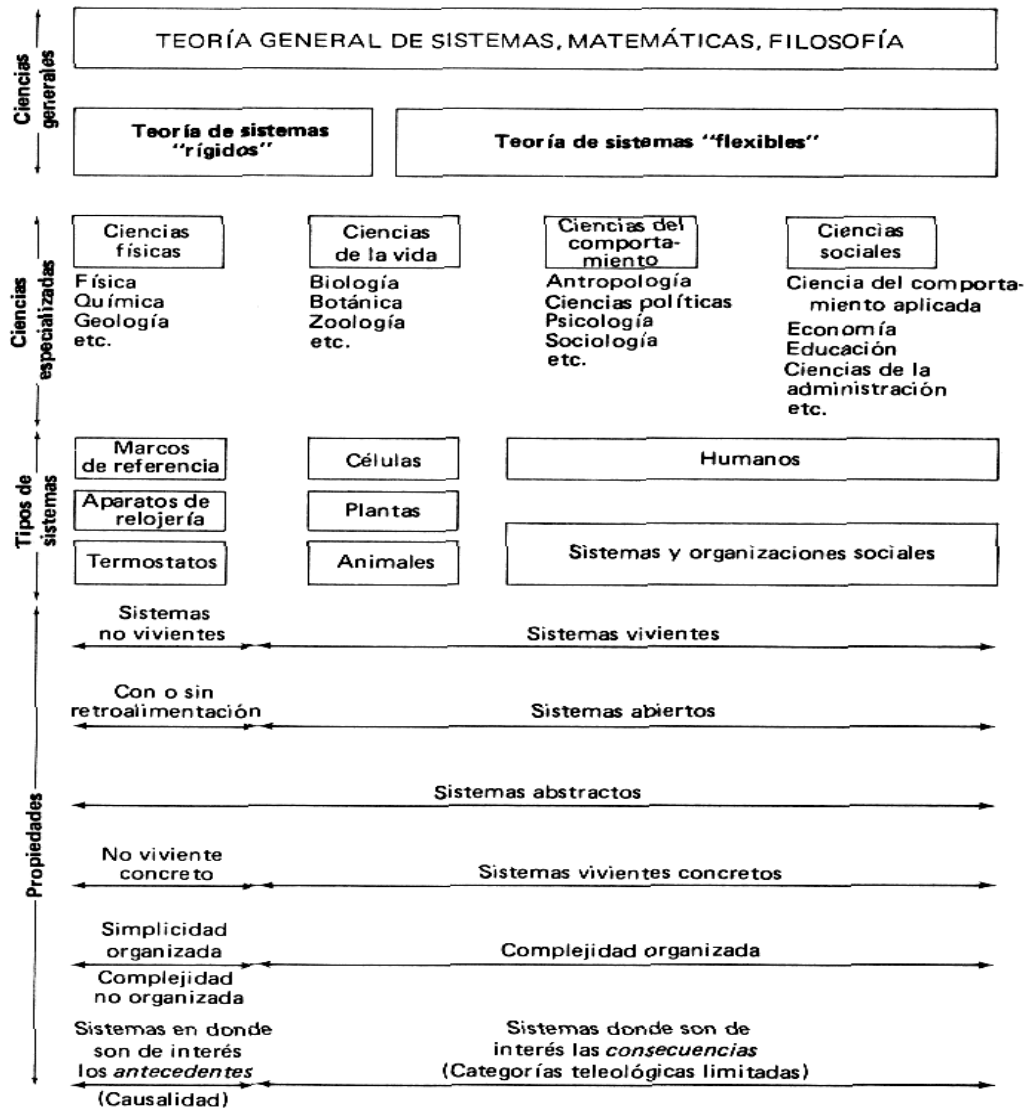


FIGURA 2.1. Taxonomía de ciencias y sistemas.

## DOMINIO Y PROPIEDADES DE LOS SISTEMAS

Las propiedades de los sistemas dependen de su dominio. El dominio de los sistemas es el campo sobre el cual se extienden. Éste puede clasificarse según si:

1. Los sistemas son vivos o no vivos.
2. Los sistemas son abstractos o concretos.
3. Los sistemas son abiertos o cerrados.
4. Los sistemas muestran un grado elevado o bajo de entropía o desorden.
5. Los sistemas muestran simplicidad organizada, complejidad no organizada o complejidad organizada.
6. A los sistemas puede asignárseles un propósito.
7. Existe la retroalimentación.
8. Los sistemas están ordenados en jerarquías.
9. Los sistemas están organizados.



Las propiedades y supuestos fundamentales del dominio de un sistema determinan el enfoque científico y la metodología que deberán emplearse para su estudio.

### **Sistemas vivientes y no vivientes**

Los sistemas pueden clasificarse dependiendo de si son *vivientes o no vivientes*. Los sistemas vivientes están dotados de funciones biológicas como son el nacimiento, la muerte y la reproducción. En ocasiones, términos como "nacimiento" y "muerte", se usan para describir procesos que parecen vivientes de sistemas no vivientes, aunque sin vida, en el sentido biológico como se encuentra necesariamente implicado en células de plantas y animales.

### **Sistemas abstractos y concretos**

De acuerdo con Ackoff, "un *sistema abstracto* es aquel en que todos sus elementos son conceptos. Un *sistema concreto* es aquel en el que por lo menos dos de sus elementos son objetos".<sup>7</sup>

Quisiéramos agregar la calificación de que, en un sistema concreto, los elementos pueden ser objetos o sujetos, o ambos. Lo cual no le quita generalidad a las definiciones de Ackoff. Todos los sistemas abstractos son sistemas no vivientes, en tanto que los concretos pueden ser vivientes o no vivientes.

La física trata la estructura de la materia. Sus leyes gobiernan las propiedades de partículas y cuerpos que generalmente pueden tocarse y verse. Sin dejar de tener presente el enfrentamiento con lo muy pequeño, donde el físico atómico sólo puede observar partículas en forma indirecta, trazando sus trayectorias en la pantalla de una cámara de burbujas en un campo electromagnético. Situación en la cual, se cuestiona lo concreto y nos acercamos a lo abstracto.

Las ciencias físicas no pueden distinguirse de las demás ciencias alegando que éstas tratan exclusivamente los sistemas concretos. Lo concreto se extiende a sistemas y dominios de las ciencias físicas así como a aquellas que pertenecen a las ciencias de la vida conductual y social. Por tanto, lo concreto no es una propiedad exclusiva de los dominios físicos.

El estudio científico incluye abstracciones de sistemas concretos. Los sistemas abstractos se usan para tipificar sistemas a través del espectro total de las ciencias. Por ejemplo, formulamos modelos matemáticos en la física, así como en la antropología, economía, etc. El uso de modelos matemáticos en la teoría general de sistemas y su apelación a la generalidad, explican su posición en la taxonomía de las ciencias, la cual abarca el espectro total.

## Sistemas abiertos y cerrados

Los conceptos de sistemas abierto y cerrado introducen una diferenciación muy importante entre ellos. El lector sin duda recordará que el concepto de "medio" se introdujo en el capítulo 1 para describir todos esos sistemas que el analista decide están fuera de su alcance. Un sistema *cerrado* es un sistema que no tiene medio —es decir, no hay sistemas externos que lo violen— o a través del cual ningún sistema externo será considerado. Un sistema *abierto* es aquel que posee medio; es decir, posee otros sistemas con los cuales se relaciona, intercambia y comunica. Como se notará posteriormente en este capítulo, la distinción entre sistemas abierto y cerrado, es fundamental para la comprensión de los principios básicos de la teoría general de sistemas. Cualquier consideración de sistemas abiertos como sistemas cerrados, en los que pasa inadvertido el medio, trae consigo graves riesgos que deben comprenderse totalmente.

Todos los sistemas vivos son sistemas abiertos. Los sistemas no vivos son sistemas cerrados, aunque la adición de una característica de retroalimentación les proporciona ciertas propiedades limitadas de sistemas vivos, que están relacionadas con su estado de equilibrio.

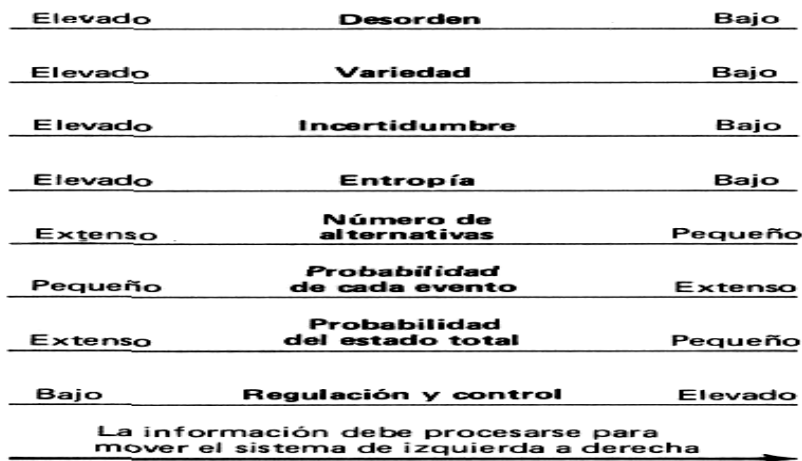
Los sistemas cerrados se mueven a un estado estático de equilibrio que es únicamente dependiente de las condiciones iniciales del sistema. Si cambian las condiciones iniciales, cambiará el estado estable final. De acuerdo con la segunda ley de la termodinámica, el sistema se moverá en dirección a la *entropía* máxima, término que posteriormente se explicará. En el caso de los sistemas abiertos, puede lograrse el mismo estado final a partir de diferentes condiciones iniciales, debido a la interacción con el medio. A esta propiedad se le da el nombre de *equifinalidad*. Los sistemas no vivos con una retroalimentación apropiada tenderán hacia estados de equilibrio, que no dependen únicamente de las condiciones iniciales, sino más bien de las limitaciones impuestas al sistema. El movimiento hacia este estado final le da al sistema no vivo alguna semejanza a la conducta de búsqueda de objetivos, la cual está reservada estrictamente a los sistemas vivos. Por tanto, en virtud del mecanismo de retroalimentación, los sistemas no vivos "parecen mostrar equifinalidad" y "adquirir algunas de las propiedades de los sistemas vivos en virtud de estar abiertos".<sup>8</sup>

## Entropía, incertidumbre e información

La entropía es una medida de desorden tomada de la termodinámica, en donde ésta se relaciona con la probabilidad de ocurrencia de un arreglo molecular particular en un gas. Cuando se traspone a la cibernética y a la teoría general de sistemas, la entropía se refiere a la cantidad de variedad en un sistema, donde la variedad puede interpretarse como la cantidad de incertidumbre que prevalece en una situación de elección con muchas alternativas distinguibles.

La entropía, incertidumbre y desorden, son conceptos relacionados, como se muestra en la figura 2.2. Utilizamos el término *dualismo* o *dualidad*, para referirnos a los valores significativos que adquieren estas variables en los dos extremos de sus espectros respectivos. Un sistema muestra una alta o baja entropía (variedad, incertidumbre, desorden). Reducir la entropía de un sistema, es reducir la cantidad

de incertidumbre que prevalece. La incertidumbre se disminuye al obtenerse información. La información, en el sentido de la teoría sobre la información, posee un significado especial que está ligado al número de alternativas en el sistema. Un ejemplo simple aclarará el punto. Si uno se enfrenta a elegir entre ocho alternativas, un cálculo simple mostrará que la entropía de la incertidumbre que existe es de tres dígitos binarios. Cuatro elecciones entre las ocho alternativas, reducirán la incertidumbre a dos dígitos binarios. Otras dos elecciones estrecharán la incertidumbre a dos alternativas y la entropía a un dígito binario. Con sólo dos alternativas restantes, una elección final elimina la incertidumbre y la entropía se reduce a cero. La cantidad de información proporcionada es la negativa de la entropía que se ha reducido. Se requieren tres dígitos binarios de información para eliminar la incertidumbre de ocho alternativas. Wiener y Shannon<sup>9</sup> inñuyeron en el establecimiento de la equivalencia de la entropía (incertidumbre) con la cantidad de información, en el sentido de la teoría sobre la información. Estos conceptos sostienen un punto central en la teoría general de sistemas, similar al que sustentan los conceptos de fuerza y energía en la física clásica.<sup>10</sup> Estos conceptos pueden utilizarse para caracterizar los sistemas vivos y no vivos. Los sistemas no vivos (considerados generalmente como cerrados), tienden a moverse hacia condiciones de mayor desorden y entropía. Los sistemas vivos (y por tanto abiertos), se caracterizan como resistentes a la tendencia hacia el desorden y se dirigen hacia mayores niveles de orden. La teoría general de sistemas explica estas tendencias por medio de a) el procesamiento de información que causa una reducción correspondiente en la entropía positiva, y b) derivar energía del medio (un incremento de entropía negativa), que contradice las tendencias declinantes de procesos naturales irreversibles (un incremento en la entropía positiva).<sup>11</sup>



**FIGURA 2.2.** Lo dualidad de variables relacionadas con desorden, entropía y cantidad de Información.

### Complejidad organizada y no organizada

Los sistemas vivos son sistemas de complejidad organizada, en tanto que los sistemas no vivos muestran propiedades ya sea de simplicidad organizada o complejidad no organizada.

De acuerdo con Rapoport y Horvath, quienes han aclarado esas distinciones, los sistemas de *simplicidad organizada* se derivan de la suma en serie de componentes, cuyas operaciones son el resultado de una "cadena de tiempo lineal de eventos, cada uno la consecuencia determinada del anterior... un sistema sin circuitos cerrados en la cadena causal".<sup>12</sup> La complejidad en este tipo de sistema se origina principalmente de la magnitud de las interacciones que deben considerarse tan pronto como el número de componentes sea más de tres.

En contraste a la simplicidad organizada, reconocemos sistemas que muestran una *complejidad caótica desorganizada*. La conducta de un gas, por ejemplo, es el resultado de la oportunidad de interacción de un número infinito de moléculas cuyo resultado final puede explicarse mediante las leyes de la mecánica estadística y de probabilidad. Las probabilidades de sistemas de complejidad no organizada se definen en términos de parámetros de distribuciones probables tomadas de un número infinito de eventos.

Los sistemas vivientes muestran un tipo de conducta que no puede explicarse ni en términos de leyes dinámicas resultantes de la suma de las propiedades de las partes, ni por el resultado probable de un número infinito de interacciones como podría encontrarse, respectivamente, en sistemas de simplicidad organizada y de complejidad no organizada. Los sistemas vivientes generalmente muestran una clase diferente de complejidad llamada complejidad organizada, que se caracteriza por la existencia de las siguientes propiedades:

1. En contraste con sistemas de complejidad no organizada donde son admisibles un número infinito de partes componentes, hay sólo un número *finito* de componentes en el sistema.
2. Cuando el sistema se desintegra en sus partes componentes, se llega al límite cuando el sistema total se descompone en "todos irreducibles" o unidades irreducibles.<sup>15</sup>
3. El sistema total posee propiedades propias, sobre y más allá de las derivadas de sus partes componentes. El todo puede representar más que la suma de las partes.

### **Propósito y conducta con un propósito**

La teleología es la doctrina filosófica que busca explicar y justificar los estados del mundo en términos de causas posteriores que pueden relegarse a futuros no inmediatos en tiempo y espacio.

El punto de vista teleológico del universo fue denunciado cuando la concepción mecánica de la física y campos relacionados explicaron con éxito las leyes del movimiento en base a causas antecedentes, más que posteriores. La teleología que supone finalidad a la par con causalidad, no sólo fue rechazada por cuerpos no vivientes, sino también por cuerpos vivientes. Por ejemplo, se mostró que la teleología, que sostiene que lo que ocurre a los cuerpos vivientes se determina por el futuro, más que por el pasado, es contradictoria con el concepto de tiempo. La vida no es diferente de los demás procesos físicos. Ésta es unidireccional y *causada*. Decir que la vida se determina y controla mediante un propósito posterior que se encuentra más allá, contradice la idea de una dirección

en el flujo del tiempo. Además, "cuando plantamos una semilla para plantar un árbol, lo que determina nuestra acción no es el árbol futuro, sino nuestras imágenes presentes del árbol futuro, por las cuales anticipamos su futura existencia",<sup>14</sup>

La teleología permaneció desacreditada desde la época de Galileo y Newton a mediados del siglo dieciséis cuando tuvieron lugar las teorías de la mecánica del universo. A pesar de su longevidad, la teoría de la mecánica no ha podido explicar muchos fenómenos, especialmente funciones biológicas y eventos que oculten en sistemas de complejidad organizada. Correspondió a la cibernética y teoría general de sistemas, hacer que el concepto de propósito, telos, fuera "científicamente respetable y analíticamente útil después de siglos de misticismo teleológico",<sup>15</sup>

La teoría general de sistemas vuelve a introducir el concepto de explicación teleológica a la ciencia, aunque en un sentido más limitado que el que se había conocido antes de Galileo y Newton. Se reconocen tres tipos de conducta activa: a) conducta con un propósito, b) conducta sin propósito y c) conducta intencional.

La conducta *con un propósito e intencional* es la que está dirigida hacia el logro de un objetivo, un estado final. El objetivo hacia el cual se esfuerzan los sistemas, tiene una consecuencia más inmediata que el concepto rechazado de la antigua teleología. La conducta *sin un propósito* es la que no está dirigida hacia el logro de un objetivo.<sup>16</sup>

Los criterios para distinguir entre una conducta con propósito y sin éste, pueden elaborarse como sigue:

1. Para que tenga lugar la conducta con propósito, el objeto al cual se atribuye la conducta debe ser parte del sistema.
2. La conducta con propósito debe estar dirigida hacia un objetivo.
3. Debe haber una relación recíproca entre el sistema y su medio.
4. La conducta debe estar relacionada o acoplada con el medio, del cual debe recibir y registrar señales que indiquen si la conducta progresa hacia el objetivo.<sup>17</sup>
5. Un sistema con un propósito debe siempre mostrar una elección de cursos alternos de acción.
6. La elección de una conducta debe conducir a un producto final o resultado.
7. Deben distinguirse las condiciones suficientes y necesarias para un evento. Las condiciones suficientes nos capacitan para predecir que éste ocurra, en tanto que las condiciones necesarias nos descubren elementos en la naturaleza que son responsables de él. Las primeras están relacionadas con la física y con las relaciones de causa-efecto, en tanto que las segundas se refieren a la biología y a las ciencias sociales, además de la explicación de las relaciones de producción entre el producto y el productor.<sup>18</sup>

En cuanto a la diferenciación entre una conducta con propósito e intencional, puede explicarse como sigue:

1. La conducta intencional pertenece a sistemas (físico, natural, diseñado), "por los cuales las personas pueden tener un propósito, pero por los que no tienen objetivos propios".
2. La conducta con propósito pertenece a "sistemas que pueden decidir cómo se van a comportar" (como lo ejemplifica la actividad humana).<sup>19</sup>

## **Retroalimentación**

Vimos que los sistemas no vivientes pueden dirigirse con retroalimentación hacia una salida específica mediante la regulación de la conducta con un mecanismo controlado. Este mecanismo se basa en el principio de retroalimentar una porción de la salida, para controlar la entrada. Podemos tener una *retroalimentación positiva*, en la cual la multiplicación entre la entrada y la salida es tal que la salida aumenta con incrementos en la entrada, o una *retroalimentación negativa*, en la cual la salida disminuye al aumentar la entrada. La retroalimentación positiva generalmente conduce a la inestabilidad de sistemas, en tanto que la retroalimentación negativa se usa para proporcionar un control de sistema estable. Las condiciones para un control estable e inestable a través de una retroalimentación positiva y negativa han sido resueltas matemáticamente y están en la base de la teoría de los servomecanismos, que trata con dispositivos por los cuales los grandes sistemas pueden controlarse automáticamente. La aplicación de los principios de control de la retroalimentación a sistemas vivientes no es tan integra como la que trata con los sistemas no vivientes. En el estudio sobre la teoría de control, en el capítulo 18, tendremos un análisis completo de estos problemas.

Será suficiente en este punto, enfatizar la importancia que mantiene el concepto de control para la teoría de sistemas. El científico social está primordialmente interesado en organizaciones o sistemas vivientes, sistemas que tienen un propósito en el sentido limitado, como se describió en la sección anterior. El científico social está interesado en dirigir esos sistemas hacia su objetivo o en proporcionar principios al administrador a fin de que pueda controlar los movimientos hacia esos objetivos. En tanto se pueda hacer un intento para traducir los principios de control y servomecanismos a sistemas vivientes, su aplicación será más difícil, debido a que las entradas y salidas no están tan claramente definidas, como cuando se trata de sistemas no vivientes, o abstracciones matemáticas. A pesar de tales dificultades, esos intentos son de la mayor importancia para mejorar el desempeño de sistemas que sirven al ser humano. Tenemos que encontrar principios y procedimientos por los cuales la organización humana pueda lograr el progreso y moverse en dirección a los objetivos que se ha fijado para sí misma.

## **Jerarquía en los sistemas**

La jerarquía es un concepto importante que puede utilizarse para representar el hecho de que los sistemas pueden ordenarse de acuerdo a varios criterios, uno de los cuales es la complejidad en incremento de la función de sus componentes. Boulding proporciona una jerarquía en la cual pueden considerarse los siguientes niveles de sistemas.

1. Sistemas no vivientes
  - 1.1. Estructuras estáticas llamadas *marcos de referencia*.
  - 1.2. Estructuras dinámicas simples con movimientos predeterminados, como se muestra en el mundo físico que nos rodea. Estos sistemas son llamados *apáralos de relojería*.
  - 1.3. Sistemas de cibernética con circuitos de control de retroalimentación llamados *termostatos*.
2. Sistemas vivientes
  - 2.1. Sistemas abiertos con estructura de automantenimiento. Las *células* representan el primer nivel en el cual la vida se diferencia de la no vida.
  - 2.2. Organismos vivientes con poca capacidad de procesamiento de información, como las *plantas*.
  - 2.3. Organismos vivientes con una capacidad de procesamiento de información más desarrollada pero no "autoconscientes". Los *animales*, excluyendo al hombre, se encuentran en este nivel.
  - 2.4. El nivel *humano*, se caracteriza por la autoconciencia, autorreflexión, y conducta de integración.
  - 2.5. *Sistemas y organizaciones sociales*.
  - 2.6. *Sistemas trascendentales*, o sistemas más allá de nuestro conocimiento presente.

En forma similar, se pueden desarrollar otras jerarquías basadas en categorizaciones de la noción de complejidad. Se han utilizado niveles de mecanización para caracterizar la progresión de sistemas manuales a automatizados. Los sistemas a los niveles más elevados muestran no sólo autocorrección, sino también propiedades adaptivas y de aprendizaje. Los individuos y grupos se han visto como sistemas de procesamiento de información con diferente complejidad. En forma similar, pueden utilizarse niveles de integración en la conducta que dependen de la complejidad de las funciones humanas de procesamiento de información, para explicar y analizar el contenido del trabajo mental.

La jerarquía y niveles ordenados son conceptos fundamentales que ayudan a explicar la complejidad en incremento de los sistemas. Esta materia se tratará con más detalle en el capítulo 14. También quisiéramos referir al lector a un estudio y clasificación de conceptos de sistemas que se encuentra en Young.

## **Organización**

La organización es una característica de sistemas que van más allá de la complejidad de la estructura. Por tanto, uno de los isótopos del átomo más simple, el hidrógeno, se compone de un protón y un electrón, y su peso atómico, determinado por el número de protones o electrones, es de uno. Por otro lado, el uranio, que es el átomo natural más pesado, está constituido de una mezcla de tres isótopos, en donde el que más predomina es el que tiene un núcleo compuesto de 238 partículas con 92 protones y 146 neutrones. En virtud de esta estructura atómica más compleja, el uranio, que como número atómico tiene 92 y su peso atómico es de 238, es más elevado que el hidrógeno en la jerarquía de los

elementos llamada tabla periódica de los elementos químicos. El arreglo en la jerarquía implica que los elementos difieren sólo en las dimensiones que adquieren las mismas variables conforme se asciende o desciende la jerarquía. Es claro que el número 238 es el valor de la variable llamada "peso atómico", y que es 238 veces más elevado que el valor de la misma variable para el átomo hidrógeno. Debido a su estructura atómica más complicada, el uranio muestra propiedades combinatorias diferentes a las del hidrógeno. Sin embargo, las propiedades del uranio pueden inferirse de las propiedades de elementos más simples. Esto es lo que realmente sucedió cuando se estructuró la tabla periódica. Se postuló la existencia de muchos elementos, y se supuso, su posición en la tabla, mucho antes de que realmente se descubrieran. Este esquema de razonamiento puede no aplicarse a conjuntos o grupos de unidades vivientes como las encontradas en sistemas que muestran una *organización*. Una familia, una pandilla, un grupo de amigos y una clase de pre-primaria, son sistemas cuyas propiedades no pueden inferirse de las propiedades de sus partes componentes. Si se agregan las características de los padres a las de los hijos, no se predecirá el comportamiento de la familia. La familia es un sistema con características propias, en virtud de estar organizadas. La organización implica una conducta orientada a objetivos, motivos y ausencia de características conductuales de sistemas encontrados en el mundo físico.

Ackoff define una organización como "un sistema por lo menos parcialmente autocontrolado" que posee las siguientes características:

1. Contenido —Las organizaciones son sistemas hombre-máquina.
2. Estructura —El sistema debe mostrar la posibilidad de cursos de acción alternativos, la responsabilidad por la cual puede diferenciarse con base en funciones (mercadeo, producción, contabilidad, etc.), geográfica, o alguna otra propiedad.
3. Comunicaciones —Las comunicaciones desempeñan un papel importante en la determinación de la conducta e interacción de subsistemas en la organización.
4. Elecciones de toma de decisión —Los cursos de acción conducen a resultados que también deben ser el objeto de elecciones entre los participantes."

### **Organizaciones como sistemas vivientes**

El estudio anterior es importante, principalmente por la lección que contiene para mejorar nuestro conocimiento sobre organizaciones. Es obvio que las organizaciones son sistemas que muestran órdenes más elevados que otros sistemas vivientes; el orden se interpreta en términos de elevada complejidad y determinación consciente para alcanzar objetivos autoestablecidos. Los sistemas de nivel bajo muestran una complejidad menor y contienen conjuntos de objetivos impuestos, ya sea por el medio o por otros sistemas. La conciencia es la que se mueve en dirección al progreso, hacia objetivos autoimpuestos, la que hace del ser humano un sistema superior en la jerarquía de los sistemas. Se acredita a la teoría general de sistemas, haber separado la teoría de los sistemas no vivientes, los cuales pueden tratarse mediante el enfoque mecánico, de la teoría de los sistemas vivientes, la que requiere un enfoque diferente del anterior.